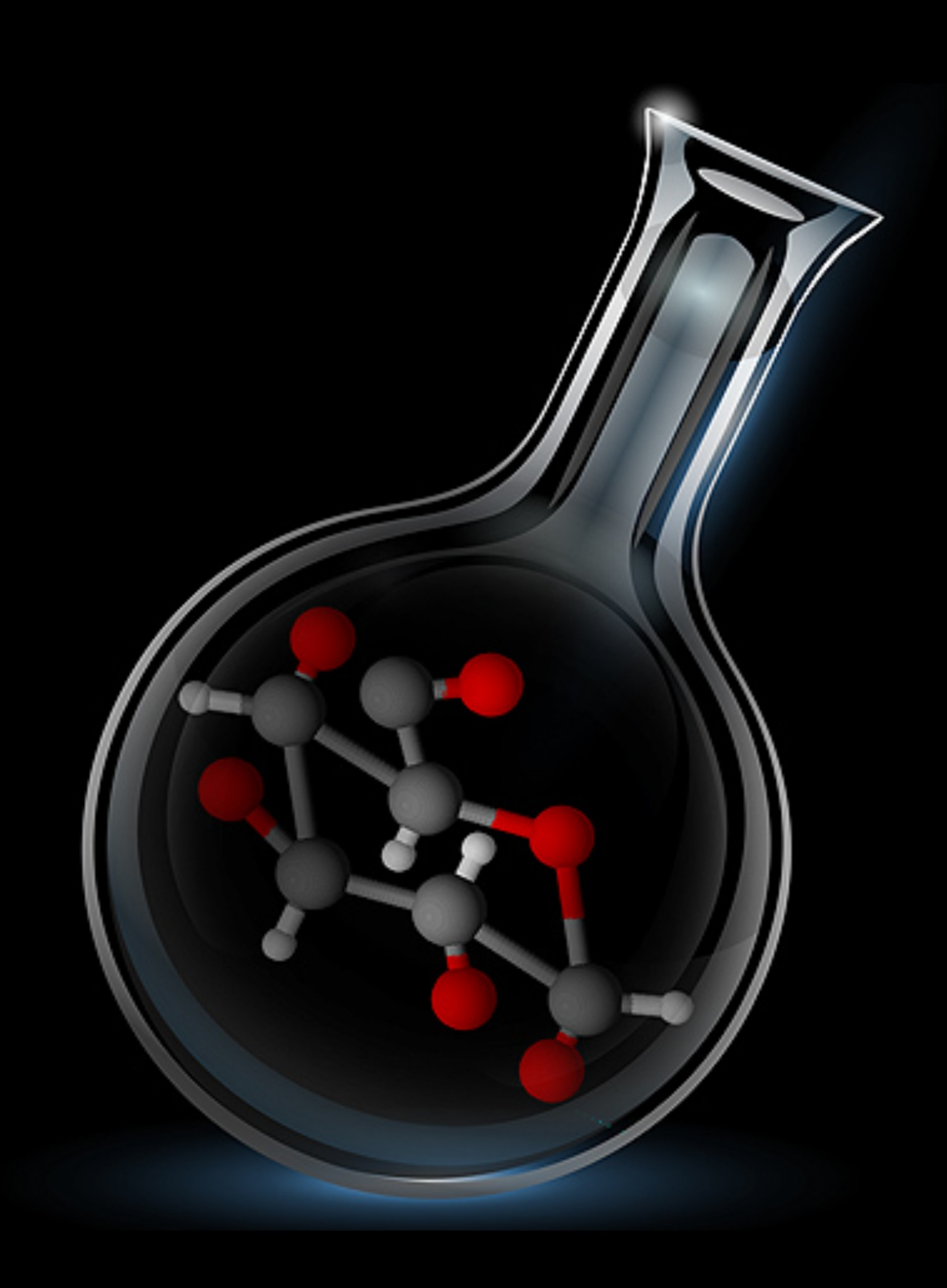
Easy to Understand

الهدف في الكيمياء

(2019)



إعداد دكتور: أنس حامد

Dr. Anas Hamed (M.Sc. in Chemistry) 01158891996 - 01158891899

الباب الأول العناصر الإنتقالية

العناصر الإنتقالية

تحتل المنطقة الوسطى في هذا الجدول بين هاتين الفئتين p, s وتشتمل هذه المنطقة على أكثر من 60 عنصراً أي أكثر من نصف عدد العناصر المعروفة.

تنقسم إلى قسمين رئيسيين هما :

(١) العناصر الإنتقالية الرئيسية Main transition elements
(٢) العناصر الإنتقالية الداخلية Inner transition elements

العناصر الإنتقالية الرئيسية: عناصر الفئة (d)

التعريف : هي عناصر يتتابع فيها امتلاء المستوى الفرعي (d)

المكونات :

تتكون من عشرة مجموعات رئيسية ... علل ؟

لأن المستوى الفرعي (d) يتسع لعشرة إلكترونات

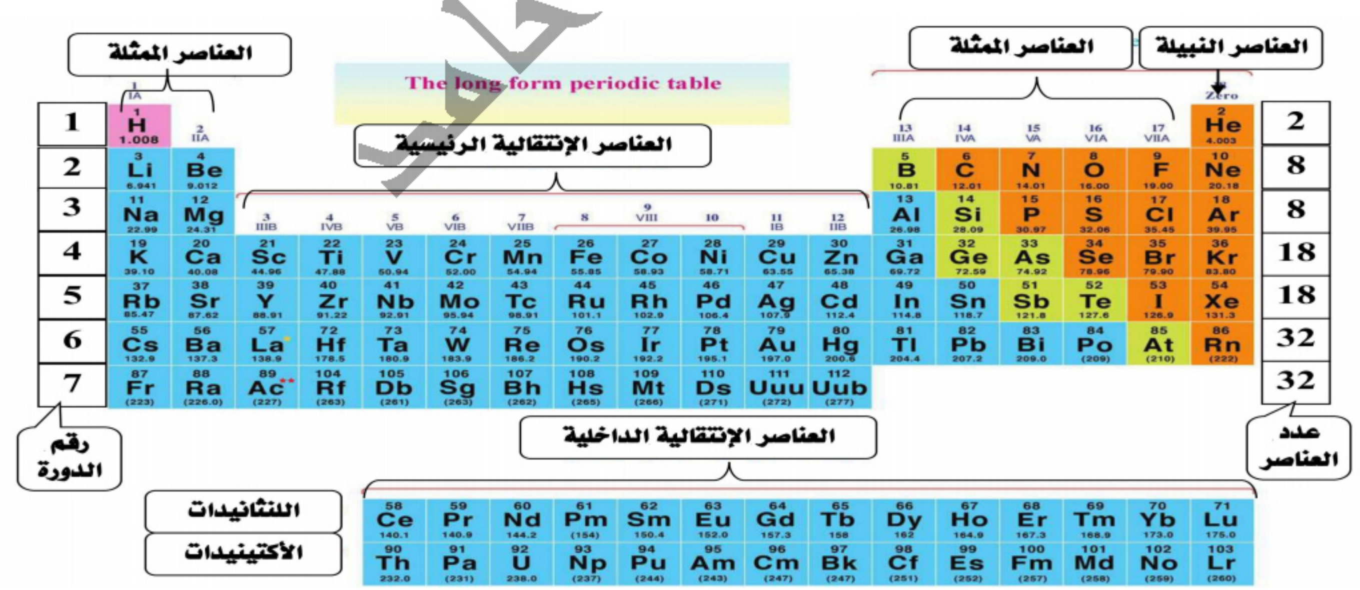
يبدأ العمود الأول منها بعناصر يكون تركيبها الإلكتروني $(n-1)d^1$, ns^2 ثم يتتابع امتلاء المستوى الفرعي (d) حتى نصل إلى العمود الأخير ويكون لعناصره التركيب الإلكتروني $(n-1)d^{10}$, ns^2

هذه الأعمدة من يسار إلى يمين الجدول الدوري هي عبارة عن المجموعات الآتية :

IIIB (3) , IVB (4) , VB (5) , VIB (6) , VIIB (7) , VIII (8) - (9) - (10) , IB (11) , IIB (12)

تختلف عناصر المجموعة الثامنة VIII التي تشتمل على ثلاث أعمدة رأسية وهي المجموعات (8) , (9) , (10) عن بقية المجموعات (B) ... علل؟

لوجود تشابه بين عناصرها الأفقية أكثر من التشابه بين العناصر الرأسية.



يمكن تقسيم العناصر الانتقالية الرئيسية إلى أربع سلاسل أفقية، هي :

السلسلة الانتقالية الأولى	السلسلة الانتقالية الثانية	السلسلة الانتقالية الثالثة	السلسلة الانتقالية الرابعة
بزيادة العدد الذري يتتابع فيها امتلاء المستوى الفرعي (3d)	بزيادة العدد الذري يتتابع فيها امتلاء المستوى الفرعي (4d)	بزيادة العدد الذري يتتابع فيها امتلاء المستوى الفرعي (5d)	بزيادة العدد الذري يتتابع فيها امتلاء المستوى الفرعي (6d)
تقع في الدورة **الرابعة**	تقع في الدورة **الخامسة**	تقع في الدورة **السادسة**	تقع في الدورة **السابعة**
تشمل عشرة عناصر تبدأ بعنصر السكانديوم $_{21}Sc(4s^2,3d^1)$ وتنتهي بعنصر الخارصين $_{30}Zn(4s^2,3d^{10})$	تشمل عشرة عناصر تبدأ بعنصر اليتريوم $_{39}Y(5s^2,4d^1)$ وتنتهي بعنصر الكادميوم $_{48}Cd(5s^2,4d^{10})$	تشمل عشرة عناصر تبدأ بعنصر اللانثانيوم $_{57}La(6s^2,5d^1)$ وتنتهي بعنصر الزئبق $_{80}Hg(6s^2,5d^{10})$	

السلسلة الانتقالية الأولى

First transition series

تقع عناصر السلسلة الانتقالية الأولى في **الدورة الرابعة**، بعد عنصر **الكالسيوم** $_{20}$**Ca** وتشتمل هذه السلسلة على **١٠ عناصر**، هي :

المجموعة	3B	4B	5B	6B	7B	8			1B	2B
العنصر	سكانديوم	تيتانيوم	ڤاناديوم	كروم	منجنيز	حديد	كوبلت	نيكل	نحاس	خارصين
الرمز	$_{21}Sc$	$_{22}Ti$	$_{23}V$	$_{24}Cr$	$_{25}Mn$	$_{26}Fe$	$_{27}Co$	$_{28}Ni$	$_{29}Cu$	$_{30}Zn$
الوزن ٪	0.0026	0.66	0.02	0.014	0.11	5.1	0.003	0.0089	0.0068	0.0078

ويبين الجدول السابق النسبة المئوية بالوزن لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى في القشرة الأرضية ورغم أن عناصر السلسلة الانتقالية الأولى مجتمعة يكون حوالي 7% من وزن القشرة الأرضية إلا أن أهميتها الاقتصادية كبيرة والتي نعرضها فيما يلي :

الأهمية الإقتصادية للعناصر الإنتقالية

(١) السكانديوم ($_{21}Sc$)

الوصـــف :

يوجد بكميات صغيرة جداً موزعة على نطاق واسع من القشرة الأرضية.

الاستخدام :

① **يستخدم في صناعة طائرات الميج المقاتلة ... علل ؟**

لأن عند إضافة نسبة ضئيلة منه إلى الألومنيوم تتكون سبيكة تمتاز بخفتها وشدة صلابتها.



② **يستخدم في صناعة مصابيح تستخدم في التصوير التلفزيوني أثناء الليل ... علل ؟**



لأن عند إضافته إلى مصابيح أبخرة الزئبق ينتج ضوء عالي الكفاءة يشبه ضوء الشمس.

(٢) التيتانيوم ($_{22}Ti$)

الوصـــف :

① عنصر شديد الصلابة كالصلب Steel ② أقل كثافة من الصلب.

الاستخدام :

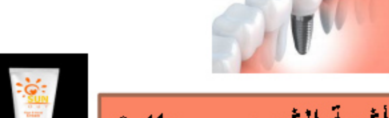
① **تستخدم سبائك التيتانيوم والألومنيوم بدلاً من الألومنيوم في صناعة الطائرات والمركبات الفضائية ... علل ؟**



لأنه يحافظ على متانته في درجات الحرارة المرتفعة في الوقت الذي تنخفض فيه متانة الألومنيوم.



② **يستخدم في عمليات زراعة الأسنان والمفاصل الصناعية ... علل ؟**



لأن الجسم لا يلفظه ولا يسبب أي نوع من التسمم

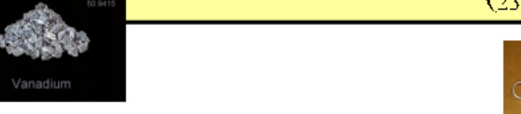
أشهر مركباته :

ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2) : يدخل في تركيب مستحضرات الحماية من أشعة الشمس ... علل ؟

حيث تعمل دقائقه النانوية على منع وصول الأشعة فوق البنفسجية للجلد.



(٣) الفانديوم ($_{23}V$)



الاستخدام :

يستخدم في صناعة زنبركات السيارات ... علل ؟

لأن عند إضافة نسبة ضئيلة منه إلى الصلب تتكون سبيكة تتميز بقساوة عالية وقدرة كبيرة على مقاومة التأكل

أشهر مركباته :

خامس أكسيد الفانديوم (V_2O_5) : ويستخدم ..

① كصبغ في صناعة السيراميك والزجاج. ② كعامل حفاز في صناعة المغناطيسات فائقة التوصيل.

(٤) الكروم ($_{24}Cr$)



الوصف :

عنصر على درجة عالية من النشاط الكيميائي لكنه يقاوم فعل العوامل الجوية ... علل ؟

بسبب تكون طبقة من الأكسيد على سطحه ويكون حجم جزيئات الأكسيد المتكون أكبر من حجم ذرات العنصر نفسه مما يعطي سطحاً غير مسامياً من طبقة الأكسيد تمنع استمرار تفاعل الكروم مع أكسجين الجو.

الاستخدام :

① طلاء المعادن. ② دباغة الجلود.

أشهر مركباته :

① **أكسيد الكروم III (Cr_2O_3) :** يستخدم في عمل الأصباغ.

② **ثاني كرومات البوتاسيوم ($K_2Cr_2O_7$) :** يستخدم كمادة مؤكسدة.



(٥) المنجنيز ($_{25}Mn$)

الاستخدام :

① **يستخدم المنجنيز دائما في صورة سبائك أو مركبات ولا يستخدم وهو في حالته النقية ... علل ؟**

لهشاشته الشديدة وهو في حالته النقية.





② **تستخدم سبائك الحديد مع المنجنيز في صناعة خطوط السكك الحديدية ... علل**

لأنها أصلب من الصلب.

③ **تستخدم سبائك الألومنيوم مع المنجنيز في صناعة عبوات المشروبات الغازية Drinks Cans ... علل ؟**

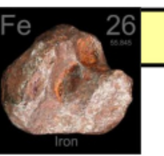
لمقاومتها للتأكل.

أشهر مركباته :

① **ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2) :** يستخدم كعامل مؤكسد قوي ، وفي صناعة العمود الجاف.

② **برمنجنات البوتاسيوم ($KMnO_4$) :** يستخدم كمادة مؤكسدة ومطهرة.

③ **كبريتات المنجنيز II ($MnSO_4$) :** يستخدم كمبيد للفطريات.



(٦) الحديد ($_{26}Fe$)

الاستخدام :

① صناعة الخرسانات المُسلحة. ② صناعة أبراج الكهرباء.

③ صناعة السكاكين. ④ صناعة مواسير البنادق والمدافع.

⑤ صناعة الأدوات الجراحية. ⑥ كعامل حفاز في صناعة النشادر بطريقة (هابر – بوش)

⑦ في تحويل الغاز المائي(خليط من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون) إلى وقود سائل بطريقة(فيشر–تروبش)



(٧) الكوبلت ($_{27}Co$)

الوصـــــف :

① **الكوبلت يشبه الحديد ... علل ؟**

أن كلاهما قابل للتمغنط ويستخدما في صناعة المغناطيسات وكذلك البطاريات الجافة في السيارات الحديثة.

② للكوبلت أثنا عشر نظيراً مُشعاً أهمها الكوبلت 60

الاستخـدام :

يُستخدم نظير الكوبلت 60 في :

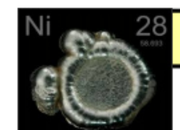
① **عمليات حفظ المواد الغذائية.** ② **في التأكد من جودة المنتجات.** ③ **في الطب ... علل ؟**

لأن الكوبلت 60 المُشع تمتاز أشعة جاما الصادرة منه بقدرة عالية على النفاذ وبالتالي :

① يحفظ المواد الغذائية.

② يمكنه التأكد من جودة المنتجات حيث يكشف عن مواقع الشقوق ولحام الوصلات.

③ لقدرته في الكشف عن الأورام الخبيثة وعلاجها.



(٨) النيكل ($_{28}Ni$)

الاستخـدام :

① صناعة بطاريات النيكل – كادميوم القابلة لإعادة الشحن.

② صناعة سبائك النيكل مع الصلب التي تتميز بالصلابة ومقاومة الصدأ ومقاومة الأحماض.

③ **صناعة سبائك النيكل والكروم التي تستخدم في ملفات التسخين والأفران الكهربية ... علل ؟**



لأنها تقاوم التآكل حتى وهي مُسخنة لدرجة الاحمرار.

④ **يستخدم النيكل في طلاء معادن كثيرة ... علل ؟**

لأنه يحميها من الأكسدة والتآكل ويعطيها شكلاً أفضل.

⑤ **يستخدم النيكل المُجزأ في هدرجة الزيوت ... علل ؟**

لأنه عامل حفاز يقلل من طاقة التنشيط ويزيد من مساحة السطح المعرض للتفاعل فيزداد سرعة التفاعل.

(٩) النحاس ($_{29}Cu$)

الوصـــــف :

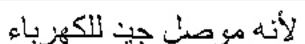
يعتبر النحاس – تاريخياً – أول فلز عرفه الإنسان

الاستخـدام :



① صناعة سبيكة النحاس والقصدير (البرونز).

② **صناعة الكابلات الكهربائية ... علل ؟**



لأنه موصل جيد للكهرباء



③ صناعة سبائك العملات المعدنية.

أشهر مركباته :

① **كبريتات النحاس II ($CuSO_4$) :** يستخدم كمبيد حشري وكمبيد للفطريات في عمليات تنقية مياه الشرب.

② **محلول فهلنج :** في الكشف عن سكر الجلوكوز حيث يتحول اللون الأزرق إلى اللون البرتقالي.



(١٠) الخارصين ($_{30}Zn$)

الاستخـدام :

تتركز معظم استخدامات الخارصين في جلفنة باقي الفلزات ... علل ؟



لحمايتها من الصدأ

أشهر مركباته :

① **أكسيـد الخارصين ZnO :** يدخـل في صناعة : (الدهانات – المطاط – مستحضرات التجميل)

② **كبريتيد الخارصين ZnS :** يستخدم في صناعة : (الطلائات المُضيئة – شاشات الأشعة السينية)

التركيب الإلكتروني وحالات التأكسد للسلسلة الإنتقالية الأولى

يوضح الجدول الآتي التركيب الإلكتروني لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى وحالات التأكسد المختلفة لها وحالات تأكسدها الشائعة.

العنصر	الرمز	المجموعة	التركيب الإلكتروني	حالات التأكسد والشائعة منها	بعض المركبات
سكانديوم	$_{21}Sc$	IIIB	$[_{18}Ar],4s^2,3d^1$	(3)	Sc_2O_3
تيتانيوم	$_{22}Ti$	IVB	$[_{18}Ar],4s^2,3d^2$	2 , 3 , (4)	TiO , Ti_2O_3 , TiO_2
فانديوم	$_{23}V$	VB	$[_{18}Ar],4s^2,3d^3$	2 , 3 , 4 , (5)	VO , V_2O_3 , VO_2 , V_2O_5
كروم	$_{24}Cr$	VIB	$[_{18}Ar],4s^1,3d^5$	2 , (3) , 6	CrO , Cr_2O_3 , CrO_3
منجنيز	$_{25}Mn$	VIIB	$[_{18}Ar],4s^2,3d^5$	2 , 3 , (4) , 6 , 7	MnO , Mn_2O_3 , MnO_2 , K_2MnO_4 , $KMnO_4$
حديد	$_{26}Fe$	VIII	$[_{18}Ar],4s^2,3d^6$	2 , (3)	FeO , Fe_2O_3
كوبلت	$_{27}Co$		$[_{18}Ar],4s^2,3d^7$	(2) , 3 , 4	$CoCl_2$, $CoCl_3$, $[CoF_6]^{2-}$
نيكل	$_{28}Ni$		$[_{18}Ar],4s^2,3d^8$	(2) , 3 , 4	NiO , Ni_2O_3 , NiO_2
نحاس	$_{29}Cu$	IB	$[_{18}Ar],4s^1,3d^{10}$	1 , (2)	Cu_2O , CuO
خارصين	$_{30}Zn$	IIB	$[_{18}Ar],4s^2,3d^{10}$	(2)	ZnO

(الجدول للإطلاع فقط)

ويلاحظ من الجدول ما يلي :

(١) تقع عناصر المجموعة الانتقالية الأولى في الدورة الرابعة بعد الكالسيوم وتركيبه الإلكتروني $_{20}Ca:[Ar],4s^2$ ويبدأ بعد ذلك امتلاء الأوربيتالات الخمسة للمستوى الفرعي ($3d$) بإلكترون مفرد وفي كل أوربيتال بالتتابع حتى نصل إلى المنجنيز ($3d^5$) ثم يتوالى بعد ذلك إزدواج إلكترونين في كل أوربيتال حتى نصل إلى الخارصين ($3d^{10}$) (قاعدة هوند).

(٢) شذوذ التركيب الإلكتروني لكل من الكروم $_{24}Cr$، والنحاس $_{29}Cu$ عن باقي السلسلة الانتقالية الأولى ... علل ؟

عنصر الكروم ($_{24}Cr$)

لأن المستويان الفرعيان ($4s^1,3d^5$) نصف ممتلئين مما يجعل الذرة أقل طاقة وبالتالي أكثر استقراراً

4s: [↑] 3d: [↑][↑][↑][↑][↑]

عنصر النحاس ($_{29}Cu$)

لأن المستوى الفرعي ($4s^1$) نصف ممتلئ والمستوى الفرعي ($3d^{10}$) تام الامتلاء مما يجعل الذرة أقل طاقة وبالتالي أكثر استقراراً

4s: [↑] 3d: [↑↓][↑↓][↑↓][↑↓][↑↓]

ملحوظة : الامتلاء الكامل أو النصفي للمستوى الفرعي ليس هو العامل الوحيد لثبات التركيب الإلكتروني للعنصر في المركب.

يسهل أكسدة أيون الحديد (II) بينما يصعب أكسدة أيون المنجنيز (II) $[_{25}Mn , _{26}Fe]$ ... علل ؟

التركيب الإلكتروني لذرة الحديد هو :

$_{26}Fe : [_{18}Ar],4s^2,3d^6$

$Fe^{2+}:[Ar],3d^6$ [↑↓][↑][↑][↑][↑] ← يسهل الأكسدة → $Fe^{3+}:[Ar],3d^5$ [↑][↑][↑][↑][↑]

أقل استقراراً — أكثر استقراراً (نصف ممتلئ)

تسير الأكسدة في اتجاه تكوين التركيب الأكثر استقراراً

التركيب الإلكتروني لذرة المنجنيز هو :

$_{25}Mn : [_{18}Ar],4s^2,3d^5$

$Mn^{2+}:[Ar],3d^5$ [↑][↑][↑][↑][↑] ← يصعب الأكسدة → $Mn^{3+}:[Ar],3d^4$ [↑][↑][↑][↑][ ]

أكثر استقراراً (نصف ممتلئ) — أقل استقراراً

لا تسير الأكسدة في اتجاه تكوين التركيب الأقل استقراراً

(٣) تعطي جميع عناصر السلسلة الانتقالية الأولى حالة التأكسد (+2) ما عدا السكانديوم ... علل ؟

بسبب خروج إلكترونين من المستوى الفرعي (4s) ولكن السكانديوم عند تحوله إلى أيون في حالة تأكسد (+3) يصبح ($3d^0$) وهي أكثر ثباتاً واستقراراً.

في حالات التأكسد الأعلى تفقد إلكترونات من المستوى الفرعي (3d)

(٤) تزداد حالات التأكسد من عنصر السكانديوم (Sc^3) حتى تصل إلى أقصى قيمة لها في عنصر المنجنيز (Mn^7) الذي يقع في المجموعة (7B) ثم تبدأ في التناقص بعد ذلك حتى نصل إلى حالة التأكسد (+2) في عنصر الخارصين (الزنك) الذي يقع في المجموعة (2B) ومن ذلك يتضح أن أعلى عدد تأكسد لأي عنصر لا يتعدى رقم المجموعة التي ينتمي إليها ما عدا عناصر المجموعة (1B) **[فلزات العملة]** وهي **(النحاس ، الفضة ، الذهب)**

(٥) تتميز العناصر الانتقالية بتعدد حالات تأكسدها بينما لا نلاحظ هذه الظاهرة في الفلزات الممثلة التي غالباً ما يكون لها حالة تأكسد واحدة ... علل ؟

لأن الإلكترونات المفقودة من الذرة عند تأكسد العناصر الانتقالية تخرج من المستوى الفرعي (4s) ثم المستوى الفرعي القريب منه في الطاقة (3d) بالتتابع.

ونجد أن طاقات التأين المتتالية لذرة الفلز الانتقالي تزداد بتدرج واضح كما يتبين من جهود تأين الفانديوم مقدرة بالكيلو جول / مول في حالات التأكسدة المتتالية.

$$\underset{(4s^2,3d^3)}{V} \xrightarrow[kJ/mol]{648} \underset{(4s^2,3d^2)}{V^+} \xrightarrow[kJ/mol]{1364} \underset{(3d^3)}{V^{2+}} \xrightarrow[kJ/mol]{2858} \underset{(3d^2)}{V^{3+}} \xrightarrow[kJ/mol]{4643} \underset{(3d^1)}{V^{4+}} \xrightarrow[kJ/mol]{6523} \underset{(3d^0)}{V^{5+}}$$

أما في الفلزات الممثلة مثل الصوديوم والماغنسيوم والألومنيوم فنجد أن الزيادة في جهد التأين الثاني في حالة الصوديوم والثالث في حالة الماغنسيوم والرابع في حالة الألومنيوم كبيرة جداً ... علل ؟

لأنه يتسبب في كسر مستوى طاقة مكتمل

لذا فلا يمكن الحصول على Na^2 أو Mg^3 أو Al^4 بالتفاعل الكيميائي العادي.

$$\underset{2s^2,2p^6,3s^2,3p^1}{Al} \xrightarrow[kJ/mol]{578} \underset{2s^2,2p^6,3s^2}{Al^-} \xrightarrow[kJ/mol]{1811} \underset{2s^2,2p^6,3s^1}{Al^{2-}} \xrightarrow[kJ/mol]{2745} \underset{2s^2,2p^6}{Al^{3-}} \xrightarrow[kJ/mol]{11540} \underset{2s^2,2p^5}{Al^{4-}}$$

(٦) بعد استعراضنا لعناصر السلسلة الانتقالية الأولى وتركيبها الإلكتروني وحالات تأكسدها يمكنا الآن أن نصل إلى تعريف للعناصر الانتقالية بوجه عام كما يلي :

العنصر الانتقالي :

العنصر الذي تكون فيه الأوربيتالات (d) ، (f) مشغولة بالإلكترونات ولكنها غير ممتلئة الامتلاء سواء في الحالة الذرية أو في أي حالة من حالات التأكسد

(١) هل تعتبر فلزات العملة Coinage metals وهي [النحاس ($_{29}Cu$) ، الفضة ($_{47}Ag$) ، الذهب ($_{79}Au$)] عناصر انتقالية علماً بأن التركيب الإلكتروني لأوربيتالاتها الخارجية هو :

[$_{79}Au$: ($6s^1,5d^{10}$)] – [$_{47}Ag$: ($5s^1,4d^{10}$)] – [$_{29}Cu$: ($4s^1,3d^{10}$)]

يتضح أن المستوى الفرعي (d) للفلزات الثلاثة ممتلئ بالإلكترونات (d^{10}) في الحالة الذرية لكن في حالة التأكسد (+2) أو (+3) نجد أن المستوى الفرعي (d) غير ممتلئ (d^9) أو (d^8) إذن فهي عناصر إنتقالية.

(٢) هل تعتبر فلزات الخارصين والكادميوم والزئبق عناصر انتقالية علما بأن التركيب الإلكتروني لأوربيتالاتها الخارجية هو : [$_{80}Hg$: ($6s^2,5d^{10}$)] – [$_{48}Cd$: ($5s^2,4d^{10}$)] – [$_{30}Zn$: ($4s^2,3d^{10}$)]

يتضح أن المستوى الفرعي (d) للفلزات الثلاثة ممتلئ بالإلكترونات (d^{10}) سواء في الحالة الذرية أو في حالة التأكسد (+2) لذا لا تعتبر هذه الفلزات انتقالية لأنها تكون ممتلئة المستوى الفرعي (d) في الحالة الفلزية وفي الحالة المتأينة.

الخواص العامة لعناصر السلسلة الإنتقالية الأولى

(1) الكتلة الذرية

تزداد الكتلة الذرية بالتدريج بزيادة العدد الذري ويشذ عن ذلك النيكل ... علل ؟

بسبب وجود خمسة نظائر مُستقرة للنيكل المتوسط الحسابي لها 58.7u

(٢) أنصاف الأقطار الذرية

يلاحظ أن أنصاف الأقطار الذرية لا تتغير كثيراً عند انتقالنا عبر السلسلة الانتقالية الأولى كما يلاحظ الثبات النسبي لنصف قطر الكروم إلى النحاس ... علل ؟

يرجع ذلك إلى عاملين متعاكسين :

1) **العامل الأول :** يعمل على **نقص** نصف قطر الذرة بزيادة العدد الذري حيث تزداد شحنة النواة الفعالة لهذه العناصر وكذلك يزداد عدد إلكترونات الذرة من السكانديوم إلى النحاس فيزداد جذب النواة للإلكترونات ويعمل على نقص في نصف قطر الذرة.

2) **العامل الثاني :** يعمل على **زيادة** نصف قطر الذرة وهو تزايد عدد إلكترونات المستوى الفرعي 3d فتزداد قوى التنافر بينها.

استخدام هذه العناصر في انتاج السبائك ... علل ؟

نتيجة لتأثير هاذين العاملين المتعاكسين نلاحظ الثبات النسبي في أنصاف أقطار هذه العناصر.

(٣) الخاصية الفلزية

تظهر الخاصية الفلزية بوضوح بين عناصر هذه السلسلة ويتضح ذلك فيما يلي :

1) جميعها فلزات صلبة تمتاز باللمعان والبريق وجودة التوصيل للحرارة والكهرباء.

2) **لها درجات انصهار وغليان مرتفعة ... علل ؟**

ويعزى ذلك إلى الترابط القوي بين الذرات والذي يتضمن اشتراك إلكترونات 4s ، 3d في هذا الترابط.

3) **معظمها فلزات ذات كثافة عالية وتزداد الكثافة عبر السلسلة بزيادة العدد الذري ... علل ؟**

لأن الحجم الذري لهذه العناصر ثابت تقريبا وعلى ذلك فالعامل الذي يؤثر في الزيادة التدريجية في الكثافة هو زيادة الكتلة الذرية.

4) هناك تباين في نشاط فلزات العناصر الإنتقالية الكيميائي

محدود النشاط : مثل : فلز النحاس. **متوسط النشاط :** مثل : الحديد الذي يصدأ عند تعرضه للهواء

شديد النشاط : مثل : السكانديوم الذي يحل محل هيدروجين الماء بنشاط شديد

(٤) الخواص المغناطيسية

كان لدراسة الخواص المغناطيسية الفضل الكبير في فهمنا لكيمياء العناصر الانتقالية، وهناك أنواع مختلفة من الخواص المغناطيسية نستعرض منها نوعان هما البارامغناطيسية والدايامغناطيسية ومعظم مركبات العناصر الانتقالية مواد بارامغناطيسية



المقارنة	البارامغناطيسية	الدايامغناطيسية
الخاصية	خاصية تظهر في الأيونات أو الذرات أو الجزيئات التي يكون فيها أوربيتالات (d) تشغلها إلكترونات مفردة (↑)	خاصية تنشأ في المواد التي تكون الإلكترونات في جميع أوربيتالاتها (d) في حالة إزدواج (⇅) فيكون عزمها المغناطيسي يساوي صفراً
المادة	المادة التي تنجذب نحو المجال المغناطيسي نتيجة لوجود إلكترونات مفردة في أوربيتالات (3d)	المادة التي تتنافر مع المجال المغناطيسي نتيجة لوجود جميع إلكتروناتها في حالة إزدواج في أوربيتالات (3d)
العزم المغناطيسي	يتراوح بين 1 : 5 حسب عدد الإلكترونات المفردة حيث تتناسب قوة الجذب المغناطيسي لها مع عدد الإلكترونات المفردة، فينشأ عن غزل الإلكترون المفرد حول محوره مجال مغناطيسي يتجاذب مع المجال المغناطيسي الخارجي	يساوى صفر فكل إلكتروناتها في حالة إزدواج وبالتالي كل إلكترونين مزدوجين يعملان في اتجاهين متضادتين.
مثال	$_{26}Fe:[Ar]4s^2,3d^6$ $3d^6$ ⇅ ↑ ↑ ↑ ↑ العزم = 4	$_{30}Zn:[Ar]4s^2,3d^{10}$ $3d^{10}$ ⇅ ⇅ ⇅ ⇅ ⇅ العزم = Zero

العزم المغناطيسي :

هي خاصية يمكن عن طريق قياسها أو تقديرها للمادة تحديد عدد الإلكترونات المفردة ومن ثم تحديد التركيب الإلكتروني لأيون الفلز.

تدريب محلول:

أي المواد التالية ديامغناطيسية وأيها بارامغناطيسية ؟

ذرة الخارصين $Zn\ (3d^{10})$ ، أيون النحاس $Cu\ (3d^9)$ (II) ، كلوريد الحديد $Fe\ (3d^6)$ (II)

الذرة أو الأيون	التوزيع الإلكتروني لأوربيتالات d	عدد الإلكترونات المفردة	الخاصية المغناطيسية
Zn	$3d^{10}$ ⇅ ⇅ ⇅ ⇅ ⇅	Zero	ديامغناطيسية
Cu^{2}	$3d^9$ ⇅ ⇅ ⇅ ⇅ ↑	1	بارامغناطيسية
Fe^{2}	$3d^6$ ⇅ ↑ ↑ ↑ ↑	4	بارامغناطيسية

تدريب:

رتب كاتيونات المركبات الآتية تصاعديًا حسب عزمها المغناطيسي :

$FeCl_3$, Cr_2O_3 , TiO_2

[Fe=26, Cr=24 , Ti=22]

(٥) النشاط الحفزي

تعتبر الفلزات الانتقالية عوامل حفز مثالية

أمثلة :

① **النيكل المجزأ :** يستخدم في عمليات هدرجة الزيوت.

② **الحديد المجزأ :** يستخدم في تحضير غاز النشادر لطريقة هابر – بوش.

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \xrightarrow[Fe]{500\ C/600\ atm} 2NH_{3(g)}$$

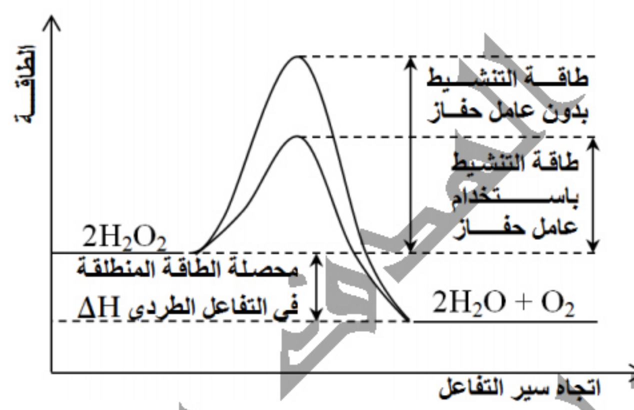
③ **خامس أكسيد الفاناديوم (V_2O_5) :** يستخدم كعامل حفاز في تحضير حمض الكبريتيك بطريقة التلامس.

$$SO_{2(g)} + O_{2(g)} \xrightarrow[450\ C]{V_2O_5} 2SO_{3(g)}$$

$$SO_{3(g)} + H_2O_{(\ell)} \longrightarrow H_2SO_{4(aq)}$$

④ **ثاني أكسيد المنجنيز (MnO_2) :** يستخدم كعامل حفاز في تفاعل إنحلال فوق أكسيد الهيدروجين إلى ماء وأكسجين.

$$2H_2O_{2(\ell)} \xrightarrow{MnO_2} 2H_2O_{(\ell)} + O_{2(g)}$$



أثر MnO_2 كعامل حفاز في تفاعل إنحلال H_2O_2

أهمية فلزات السلسلة الانتقالية الأولى كعوامل حفز ... علل ؟

بسبب استخدام إلكترونات 3d , 4s في تكوين روابط بين الجزيئات المتفاعلة وذرات سطح الفلز مما يؤدي إلى تركيز هذه المتفاعلات على سطح الحافز وإلى إضعاف الرابطة في الجزيئات المتفاعلة مما يقلل من طاقة التنشيط ويساعد في سرعة التفاعل.

(٦) الأيونات الملونة

معظم مركبات العناصر الانتقالية ومحاليلها المائية ملونة

تفسير اللون في المواد :

تتميز أيونات أو ذرات العناصر الانتقالية بأنها ملونة ... علل ؟

لأن لون المادة ينتج من امتصاص بعض فوتونات منطقة الضوء المرئي والذي تراه العين هو محصلة مخلوط الألوان المتبقية.

① إذا امتصت المادة جميع ألوان الضوء المرئي (الأبيض) تظهر للعين سوداء

② إذا امتصت المادة لوناً معيناً يظهر لونها باللون المتمم له Complementary colour

يبين الجدول اللون الذي تمتصه المادة واللون المتمم له (المنعكس) وهو الذي تراه به العين.

اللون الذي تمتصه المادة	اللون المتمم الذي تراه العين
بنفسجي V	أصفر Y
أزرق B	برتقالي O
أخضر G	أحمر R
أصفر Y	بنفسجي V
أحمر R	أخضر G

مركبات الكروم (III) تبدو للعين باللون الأخضر ... علل ؟

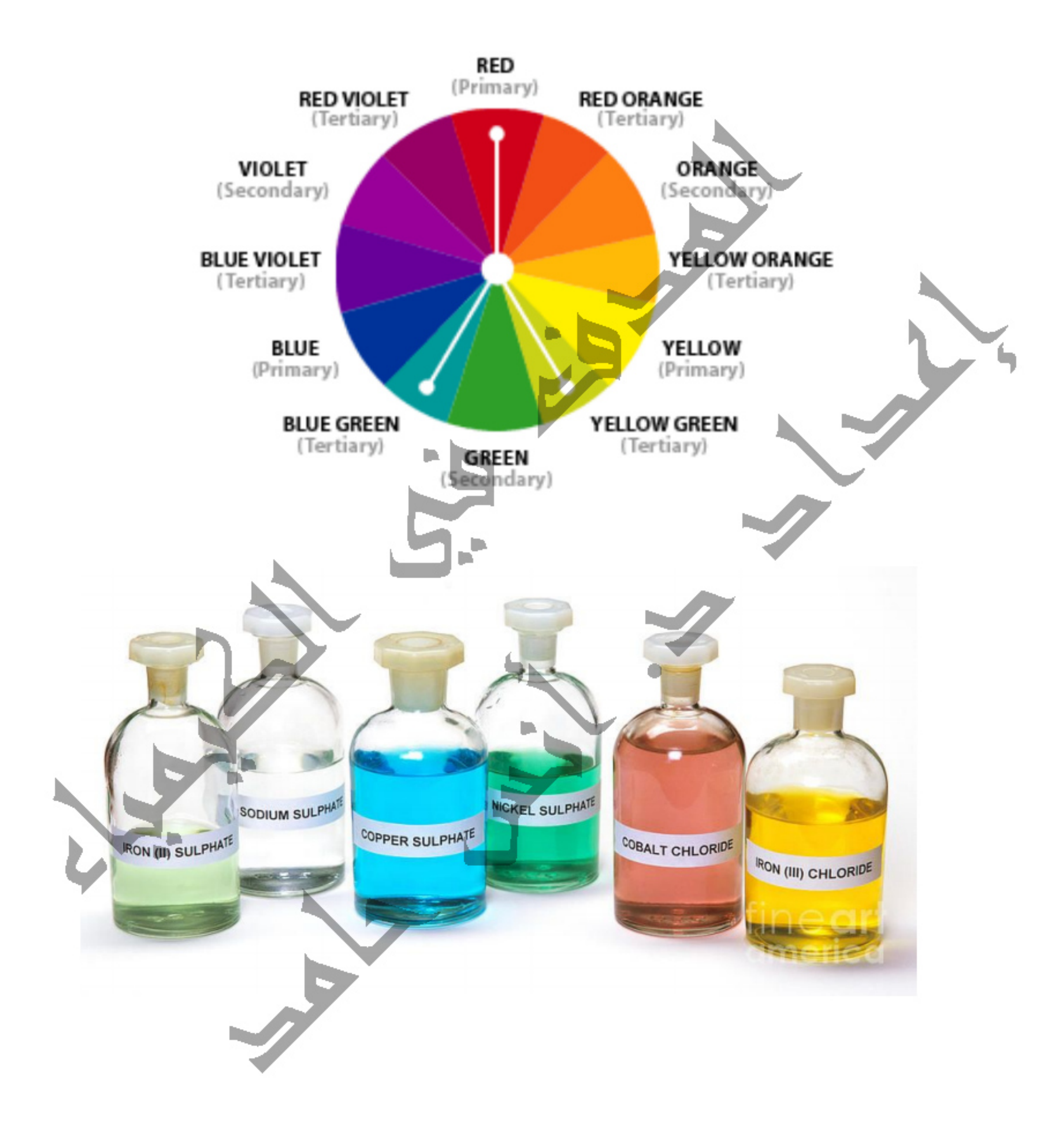
لأنها تمتص اللون الأحمر

العلاقة بين ألوان أيونات العناصر الإنتقالية وتركيبها الإلكتروني :

بمراجعة الجدول الذي يبين ألوان أيونات العناصر الإنتقالية المتهدرتة نجد أن أيونات

$(d^{10})\ Zn^{2}$ ، $(d^{10})\ Cu^{1}$ ، $(d^{0})\ Sc^{3}$

غير ملونة كذلك نجد أيونات العناصر غير الإنتقالية – فهي تتميز باحتوائه على أوربيتالات d فارغة (d^0) أو ممتلئة تماماً (d^{10}) من ذلك نستنتج أن اللون في أيونات العناصر الإنتقالية يعزى إلى الامتلاء الجزئي لأوربيتالات المستوى الفرعي (d) أي لوجود إلكترونات منفردة في أوربيتالات $(1 : 9\ e^-)$



الحديد (Iron)

قال تعالى : ﴿ وَأَنزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ ﴾ {الحديد:٢٥}

يعتبر الحديد عصب الصناعات الثقيلة.

التوزيع الإلكتروني : $_{26}Fe : [Ar]\ 4s^2, 3d^6$

الوجـود :

1. ترتيبه الرابع بين العناصر المعروفة في القشرة الأرضية ، بعد عناصر الأكسجين والسيلكون والألومنيوم، حيث يكون 5.1% من وزن القشرة الأرضية.
2. تزداد كميته تدريجياً كلما اقتربنا من باطن الأرض.
3. لا يوجد بشكل حُر إلا في النيازك (90%)
4. يوجد الحديد في القشرة الأرضية على هيئة خامات طبيعية تحتوي على مختلف أكاسيد الحديد مختلطة بشوائب.

العوامل التي يتوقف عليها صلاحية استخلاص الحديد من خاماته :

1. نسبة الحديد الخام.
2. تركيب الشوائب المصاحبة له في الخام.

نوعية العناصر الضارة المختلطة معه في الخام **مثل** الكبريت، والفوسفور، والزرنيخ، وغيرها.

خامات الحديد التي تستخدم في تصنيعه

الخام	الاسم الكيميائي	الصيغة الكيميائية	الخواص	نسبة الحديد	أماكن وجوده في مصر
الهيماتيت	أكسيد الحديد (III)	Fe_2O_3	لونه أحمر داكن – سهل الاختزال	50 – 60%	الجزء الغربي لمدينة أسوان – الواحات البحرية
الليمونيت	أكسيد الحديد (III) المتهدرت	$2Fe_2O_3.3H_2O$	أصفر اللون – سهل الاختزال	20 – 60%	الواحات البحرية
المجنتيت	أكسيد الحديد المغناطيسي	Fe_3O_4	أسود اللون – له خواص مغناطيسية	45 – 70%	الصحراء الشرقية
السيدريت	كربونات الحديد (II)	$FeCO_3$	لونه رمادي مصفر – سهل الاختزال	30 – 42%	ــــــــ

استخلاص الحديد من خاماته

أولا: تجهيز الخام

(۱) تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخامات وتتضمن :

(أ) عمليات التكسير :

بهدف الحصول على الحجم المناسب لعمليات الاختزال.

(ب) عمليات التلبيد :

تنتج عن عمليات التكسير والطحن وعن عمليات تنظيف غازات الأفران العالية كميات هائلة من الخام الناعم الذي لا يمكن استخدامه في الأفران العالية مباشرة ، لذا تخضع هذه الأحجام الدقيقة للمعالجة بغرض ربط وتجميع الحبيبات في أحجام أكبر تكون متماثلة ومتجانسة وتسمى هذه العملية بالتلبيد.

(ج) عمليـــات التركيـــز :

هي العمليات التي تجرى بهدف زيادة نسبة الحديد وذلك بفصل والمواد غير المرغوب فيها عن الخامات والتي تكون متحدة معها كيميائياً أو مختلطة بها وتتم عمليات التركيز باستخدام خاصية التوتر السطحي أو الفصل المغناطيسي أو الفصل الكهربي.

(٢) تحسين الخواص الكيميائية :

التحميص : وتتم هذه العملية بتسخين الخام بشدة في الهواء وذلك بغرض :

(أ) تجفيف الخام والتخلص من الرطوبة وزيادة نسبة الحديد في الخام :

$$2FeO_{(s)} + \tfrac{1}{2}O_{2(g)} \longrightarrow Fe_2O_{3(s)}$$

حديد 69.6%

$$FeCO_{3(s)} \xrightarrow{\Delta} FeO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

حديد 48.2%

$$2Fe_2O_3.3H_2O_{(s)} \xrightarrow{\Delta} 2Fe_2O_{3(s)} + 3H_2O_{(g)}$$

حديد 40% → حديد 69.6%

(ب) أكسدة بعض الشوائب مثل الكبريت والفوسفور :

$$4P_{(s)} + 5O_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} 2P_2O_{5(g)}$$

$$S_{(s)} + O_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} SO_{2(g)}$$

ثانيا: إختزال خامات الحديد

يتم في هذه المرحلة اختزال أكاسيد الحديد إلى حديد ، بإحدى طريقتين تبعاً للعامل المختزل المُستخدم.

	الفرن العالي	فرن مدركس
العامل المختزل	غاز أول أكسيد الكربون.	خليط من غازي أول أكسيد الكربون والهيدروجين (الغاز المائي)
مصدر العامل المختزل	ينتج من فحم الكوك طبقاً للمعادلتين الآتيتين: $C_{(s)} + O_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} CO_{2(g)}$ $CO_{2(g)} + C_{(s)} \xrightarrow{\Delta} 2CO_{(g)}$	ينتجان من الغاز الطبيعي CH_4 (نسبة الميثان 93% فيه) $2CH_{4(g)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(g)} \xrightarrow{\Delta} 3CO_{(g)} + 5H_{2(g)}$
تفاعل الاختزال	$Fe_2O_{3(s)} + 3CO_{(g)} \xrightarrow{\Delta} 2Fe_{(s)} + 3CO_{2(g)}$	$2Fe_2O_{3(s)} + 3CO_{(g)} + 3H_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} 2Fe_{(s)} + 3CO_{2(g)} + 3H_2O_{(g)}$

ثالثا: إنتاج الحديد

بعد عملية اختزال خامات الحديد في الفرن العالي أو فرن مدركس تأتي المرحلة الثالثة وهي انتاج الأنواع المختلفة من الحديد **مثل :** الحديد الزهر أو الحديد الصلب .

الصلب (steel)

تعتمد صناعة الصلب على عمليتين هما :

(١) التخلص من الشوائب الموجودة في الحديد الناتج من أفران الاختزال.

(٢) إضافة بعض العناصر إلى الحديد لتكسب الصلب الناتج الخواص المطلوبة للأغراض الصناعية.

وتتم صناعة الصلب باستخدام واحد من ثلاثة أنواع معروفة من الأفران هي :

① المحولات الأكسجينية. ② الفرن المفتوح. ③ الفرن الكهربائي.

السبائك (alloys)

التكويـن :

(١) **فلزين أو أكثر : مثل :** سبائك الحديد والكروم ، الحديد والمنجنيز ، الحديد والفاناديوم ، والحديد والنيكل

(٢) **فلز مع لافلـز : مثل :** الحديد والكربون

التحضيـر :

	طريقـة الصهـر	طريقـة الترسيـب الكهربـي
طريقـة التحضير	عن طريق صهر الفلزات مع بعضها وترك المنصهر ليبرد تدريجياً.	عن طريق الترسيب الكهربي لفلزين أو أكثر في نفس الوقت.
مثـال	سبائك الحديد والكروم ، الحديد والمنجنيز ، الحديد والفاناديوم ، الحديد والنيكل.	تغطية المقابض الحديدية بالنحاس الأصفر (نحاس + خارصين) وذلك بترسيبه كهربياً من محلول يحتوي أيونات النحاس والخارصين على هذه المقابض

أنواع السبائك

السبائك البينية	السبائك الاستبدالية	سبائك المركبات البينفلزية
يتكون أي فلز – كالحديد – من شبكة بلورية من ذرات الفلز مرصوصة رصاً محكماً بينها مسافات بينية وعند الطرق يمكن أن تتحرك طبقة من ذرات الفلز فوق طبقة أخرى ولكن إذا أدخل فلز آخر حجم ذراته أقل من حجم ذرات الفلز النقي في المسافات البينية للشبكة البلورية للفلز الأصلي ، فإن ذلك يعوق إنزلاق الطبقات وهو ما يزيد من صلابة الفلز بالإضافة إلي تأثر بعض خواصه الفيزيائية الأخرى مثل : قابلية الطرق والسحب ودرجات الانصهار والتوصيل الكهربي والخواص المغناطيسية **مثال :** سبيكة الحديد والكربون (الحديد الصلب) فلز نقي انزلاق طبقات الفلز عند الطرق تأثير دخول ذرات صغيرة	تستبدل بعض ذرات الفلز الأصلي في الشبكة البلورية بذرات فلز آخر له : ١- نصف القطر ٢- الشكل البلوري ٣- الخواص الكيميائية. **أمثلة :** ١- سبيكة الحديد والكروم في الصلب الذي لا يصدأ ٢- سبيكة الذهب والنحاس ٣- سبيكة الحديد والنيكل	تتحد العناصر المكونة للسبيكة اتحاداً كيميائياً فتتكون مركبات كيميائية. **مميزاتها :** ١- مركبات صلبة. ٢- تتكون من فلزات لا تقع في مجموعة واحدة بالجدول الدوري **أمثلة :** ١- سبيكة الديور ألومين (الألومنيوم – النيكل) (الألومنيوم – النحاس) ٢- سبيكة (الرصاص – الذهب) Au_2Pb ٣- السيمنتيت Fe_3C

خواص الحديد

الخـواص الفيـزيائيـة :

① ليس له أهمية صناعية وهو في الحالة النقية.
② لين نسبياً ليس شديد الصلابة.
③ يسهل تشكيله.
④ قابل للطرق والسحب.
⑤ له خواص مغناطيسية.
⑥ ينصهر عند 1538°C
⑦ كثافته $7.87 g/cm^3$

تعتمد الخواص الفيزيائية للحديد على نقائه وطبيعة الشوائب به.
يمكن إنتاج عدد هائل من أنواع الصلب وسبائك الحديد لها صفات عديدة تجعلها صالحة لاستخدامات عديدة.

الخــواص الكيميائيـة :

بخلاف العناصر التي قبله في السلسلة الانتقالية الأولى لا يعطي الحديد حالة تأكسد تدل على خروج جميع إلكترونات المستويين الفرعيين (4s,3d) وهي ثمان إلكترونات.جميع حالات التأكسد الأعلى من(+3) ليست ذا أهمية.له حالة تأكسد(+2) تقابل خروج إلكتروني المستوى الفرعي (4s) وحالة التأكسد (+3) تقابل ($3d^5$) نصف ممتلئ (حالة الثبات)

(١) تأثير الهـواء :

يتفاعل الحديد الساخن لدرجة الاحمرار مع الهواء أو الأكسجين ليعطي أكسيد حديد مغناطيسي

$$3Fe_{(s)} + 2O_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} Fe_3O_{4(s)}$$

(٢) فعل بخار المـاء :

يتفاعل الحديد الساخن لدرجة الاحمرار (500°C) مع بخار الماء ليعطي أكسيد حديد مغناطيسي وهيدروجين.

$$3Fe_{(s)} + 4H_2O_{(g)} \xrightarrow{(500\ °C)} Fe_3O_{4(s)} + 4H_{2(g)}$$

(٣) مع اللافلزات :

يتفاعل مع الكلور ليعطي كلوريد حديد (III) ويتحد مع الكبريت ليعطي كبريتيد الحديد (II)

$$2Fe_{(s)} + 3Cl_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} 2FeCl_{3(s)} \qquad Fe_{(s)} + S_{(s)} \xrightarrow{\Delta} FeS_{(s)}$$

يتفاعل الحديد مع الكبريت ويتكون كبريتيد حديد II بينما عند تفاعله مع الكلور يعطي كلوريد حديد III وليس كلوريد حديد II ... علل ؟

لأن الكلور عامل مؤكسد قوي يحول كلوريد الحديد II إلى كلوريد حديد III

(٤) مع الأحماض :

يذوب الحديد في الأحماض المعدنية المخففة ليعطي أملاح الحديد (II) ولا يتكون أملاح الحديد(III) ... علل ؟

لأن الهيدروجين الناتج يختزلها

$$Fe_{(s)} + H_2SO_{4(aq)} \xrightarrow{dil.} FeSO_{4(aq)} + H_{2(g)}$$

$$Fe_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \xrightarrow{dil.} FeCl_{2(aq)} + H_{2(g)}$$

يتفاعل الحديد مع حمض الكبريتيك المركز ليعطي كبريتات حديد (II) وكبريتات حديد (III) وثاني أكسيد الكبريت وماء

$$3Fe_{(s)} + 8H_2SO_{4(\ell)} \xrightarrow[\Delta]{conc.} FeSO_{4(aq)} + Fe_2(SO_4)_{3(aq)} + 4SO_{2(g)} + 8H_2O_{(v)}$$

يسبب حمض النيتريك المركز خمولاً ظاهرياً للحديد ... علل ؟

لتكون طبقة رقيقة من الأكسيد على سطح الفلز تحميه من استمرار التفاعل.

يمكن إزالة الحديد الخامل **(الصدأ)** بالحك أو باستخدام حمض الهيدروكلوريك المخفف.



أكاسيد الحديد

أولا: أكسيد حديد (II) (FeO) :

تحضيـــره :

(١) بتسخين أوكسالات الحديد بمعزل عن الهواء.

$$\begin{matrix}COO\\|\\COO\end{matrix}\!\!>Fe_{(s)} \xrightarrow[\text{بمعزل عن الهواء}]{\Delta} FeO_{(s)} + CO_{(g)} + CO_{2(g)}$$

(٢) باختزال الأكاسيد الأعلى مثل أكسيد الحديد (III) ، وأكسيد الحديد المغناطيسي بالهيدروجين أو أول أكسيد الكربون.

$$Fe_2O_{3(s)} + H_{2(g)} \xrightarrow{400-700\ C} 2FeO_{(s)} + H_2O_{(g)}$$

$$Fe_3O_{4(s)} + H_{2(g)} \xrightarrow{400-700\ C} 3FeO_{(s)} + H_2O_{(g)}$$

خواصــه :

١- مسحوق أسود لا يذوب في الماء

٢- يتأكسد بسهولة في الهواء الساخن

$$4FeO_{(s)} + O_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} 2Fe_2O_{3(s)}$$

٣- يتفاعل مع الأحماض المعدنية المخففة منتجاً أملاح الحديد (II) والماء.

$$FeO_{(s)} + H_2SO_{4(aq)} \xrightarrow{dil.} FeSO_{4(aq)} + H_2O_{(\ )}$$

ثانيا: أكسيد حديد (III) (Fe_2O_3) :

تحضيـــره :

١- بإضافة محلول قلوي إلى أحد محاليل أملاح الحديد (III) يترسب هيدروكسيد الحديد (III) (بني محمر) وعند تسخين هيدروكسيد الحديد (III) عند درجة أعلى من (200°C) يتحول إلى أكسيد حديد (III) وماء.

$$FeCl_{3(aq)} + 3NH_4OH_{(aq)} \longrightarrow 3NH_4Cl_{(aq)} + Fe(OH)_{3(s)}$$

$$2Fe(OH)_{3(s)} \xrightarrow[200\ C]{\text{Higher than}} Fe_2O_{3(s)} + 3H_2O$$

٢- عند تسخين كبريتات الحديد (II) ينتج أكسيد الحديد (III) وخليط من ثاني وثالث أكسيد الكبريت

$$2FeSO_{4(s)} \longrightarrow Fe_2O_{3(s)} + SO_{2(g)} + SO_{3(g)}$$

وجـــوده : يوجد في الطبيعة في خام الهيماتيت

خواصــه :

(١) لا يذوب في الماء.

(٢) يستخدم كلون أحمر في الدهانات.

(٣) يتفاعل مع الأحماض المركزة الساخنة ليتكون أملاح الحديد (III) والماء.

$$Fe_2O_{3(s)} + 3H_2SO_{4(aq)} \xrightarrow[conc.]{\Delta} Fe_2(SO_4)_{3(aq)} + 3H_2O_{(v)}$$

ثالثا: أكسيد الحديد الأسود (المغناطيسي) (Fe_3O_4) :

وجــوده :

يوجد في الطبيعة ويعرف بالمجنيتيت وهو أكسيد مختلط من أكسيدي حديد (II) وحديد (III)

تحضيره :

١- من الحديد المسخن لدرجة الاحمرار بفعل الهواء أو بخار الماء.

٢- بـاختزال أكسـيد الحديـد (III) بواسـطة الهيـدروچين أو أول أكسـيد الكربـون عنـد درجـة حـرارة 230 – 300°C

$$Fe_2O_{3(s)} + 3H_2SO_{4(\ )} \xrightarrow[\text{conc.}]{\Delta} Fe_2(SO_4)_{3(aq)} + 3H_2O_{(\ )}$$

خواصه :

١- مغناطيس قوي.

٢- يتفاعل مع الأحماض المركزة الساخنة ليعطي أملاح حديد (II) ، وحديد (III) ... علل ؟

لأنه أكسيد مركب (مختلط) من أكسيدي حديد (II) وحديد (III)

$$Fe_3O_{4(s)} + 4H_2SO_{4(\ )} \xrightarrow[\text{conc.}]{\Delta} FeSO_{4(aq)} + Fe_2(SO_4)_{3(aq)} + 4H_2O_{(v)}$$

٣- يتأكسد إلى أكسيد الحديد (III) عند تسخينه في الهواء.

$$2Fe_3O_{4(s)} + \tfrac{1}{2}O_{2(g)} \xrightarrow{\Delta} 3Fe_2O_{3(s)}$$

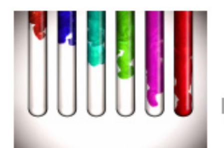


الباب الثاني التحليل الكيميائي

التحليل الكيميائي

✪ أحد فروع علم الكيمياء الهامة الذى ساهم بدور كبير فى تقدم علم الكيمياء وتطور المجالات العلمية المختلفة مثل الطب والزراعة والصناعات الغذائية والبيئية وغيرها.

أهمية التحليل الكيميائى فى المجالات المختلفة:

مجال الطب	✪ يعتمد تشخيص الأمراض على التحليل الكيميائى فتقدير نسب السكر والزلال والبولينا والكوليسترول وغيرها تسهل مهمة الطبيب فى التشخيص والعلاج. ✪ تقدير كمية المكونات الفعالة فى الدواء.
مجال الزراعة	 ✪ تفيد التحاليل الكيميائية التى تجرى على التربة لمعرفة: • خواصها من حيث الحموضة والقاعدية. • نوع ونسب العناصر الموجودة بها. • طريقة معالجتها بإضافة الأسمدة المناسبة.
مجال الصناعة	✪ يفيد التحليل الكيميائى للخامات والمنتجات لتحديد مدى مطابقتها للمواصفات القياسية.
مجال خدمة البيئة	✪ يفيد التحليل الكيميائى فى: • معرفة وقياس محتوى المياه والأغذية من الملوثات البيئية الضارة. تحديد نسب غازات أول أكسيد الكربون وثانى أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين فى الجو.

أنواع التحليل الكيميائى

التحليل الكيفى (الوصفى)	التحليل الكمى
يهدف إلى التعرف على مكونات المادة سواء كانت نقية أم مخلوط من عدة مواد	يهدف إلى تقدير نسبة كل مكون من المكونات الأساسية للمادة

✪ لابد من إجراء عمليات التحليل الكيفى أولاً للتعرف على مكونات المادة لإختيار أنسب الطرق لتحليلها كمياً

التحليل الكيميائى الوصفى (الكيفى أو النوعى)

✪ يهدف إلى التعرف على مكونات المادة سواء كانت نقية أو مخلوط من عدة مواد

فى حالة المادة النقية	فى حالة المخلوط
يمكن التعرف عليها من ثوابتها الفيزيائية مثل درجة الحرارة ودرجة الغليان والكتلة المولية	يجب أولاً فصل المواد النقية كل على حده ثم نكشف عنها بالطرق الكيميائية باستخدام الكواشف المناسبة

✪ عبارة عن سلسلة من التفاعلات المختارة المناسبة تجرى للكشف عن نوع المكونات الأساسية لمادة على أساس التغيرات الحادثة فى هذه التفاعلات

التحليل الوصفى يشمل

تحليل المركبات العضوية	تحليل المركبات غير العضوية
يتم فيها الكشف عن العناصر والمجموعات الوظيفية الموجودة بغرض التعرف على المركب	يتم فيها التعرف على الأيونات التى يتكون منها المركب غير العضوى وتشمل الكاتيونات (الشق القاعدى) والأنيونات (الشق الحامضى)

✪ سنكتفي في دراسة التحليل الوصفي على الكشف عن الكاتيونات والأنيونات في المركبات غير العضوية.

الأنيونات (الشق الحامضى)	الكاتيونات (الشق القاعدى)
$(SO_4)^{2-}$ / $(CO_3)^{2-}$ / $(NO_3)^{-}$ / $(PO_4)^{3-}$	Na^{+} / Ba^{2+} / Cu^{2+} / Al^{3+} / Fe^{+3} / Ca^{2+}

تحليل المركبات غير العضوية

الكشف عن الأنيونات (الشق الحامضى)

✪ نتيجة اختلاف الأحماض في درجات غليانها فإنها تختلف في درجة ثباتها (تطايرها) فكلما ارتفعت درجة غليان حمض بالنسبة للآخر كلما ارتفعت درجة ثباته ويكون أقل تطايراً والعكس صحيح.

الفرق بين قوة الحمض و استقرار (ثبات) الحمض

قوة الحمض	ثبات الحمض
تعتمد على قابلية الحمض للتأين إلى (أيونات الهيدروجين الموجبة والأنيونات السالبة)	يعتمد على مدى عدم تفكك الحمض إلى مكوناته (الأكسيد الحامضى والماء)
حمض الكبريتيك يتأين كليا فى الماء ليعطى كمية كبيرة من أيونات الهيدروجين (حمض قوى)	حمض الكبريتيك لا يتحلل الى مكوناته بسهولة وهى ثالث أكسيد الكبريت والماء (حمض ثابت)
حمض الكربونيك تأينه غير تام وبالتالي يعطي كمية قليلة من أيونات الهيدروجين (حمض ضعيف)	حمض الكربونيك يتحلل الى مكوناته بسهولة وهي ثاني أكسيد الكربون والماء (حمض غير ثابت)

✪ **ويمكن تقسيم الأحماض تبعاً لثباتها إلى ثلاثة مجموعات :**

(1) أحماض غير ثابتة		(2) أحماض متوسطة الثبات		(3) أحماض ثابتة	
الكربونيك	H_2CO_3	الهيدروكلوريك	HCl	الكبريتيك	H_2SO_4
الكبريتوز	H_2SO_3	الهيدروبروميك	HBr	الفوسفوريك	H_3PO_4
الهيدروكبريتيك	H_2S	الهيدرويوديك	HI		
الثيوكبريتيك	$H_2S_2O_3$	النيتريك	HNO_3		
النيتروز	HNO_2				

(1) يمكن لحمض من أحماض المجموعة الثانية أن يطرد حمضاً من المجموعة الأولى من أملاحه.

$$Na_2S_{(aq)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + H_2S_{(g)}$$

(2) كما أنه يمكن لحمض من المجموعة الثالثة أن يطرد حمضاً من المجموعة الأولى أو الثانية من أملاحه.

$$2NaCl_{(s)} + H_2SO_{4(\ell)} \xrightarrow[\Delta]{conc} Na_2SO_{4(aq)} + 2HCl_{(g)}$$

✪ **يمكن تقسيم الأنيونات إلى ثلاثة مجموعات لكل منها كاشف معين وهذه المجموعات هي :**

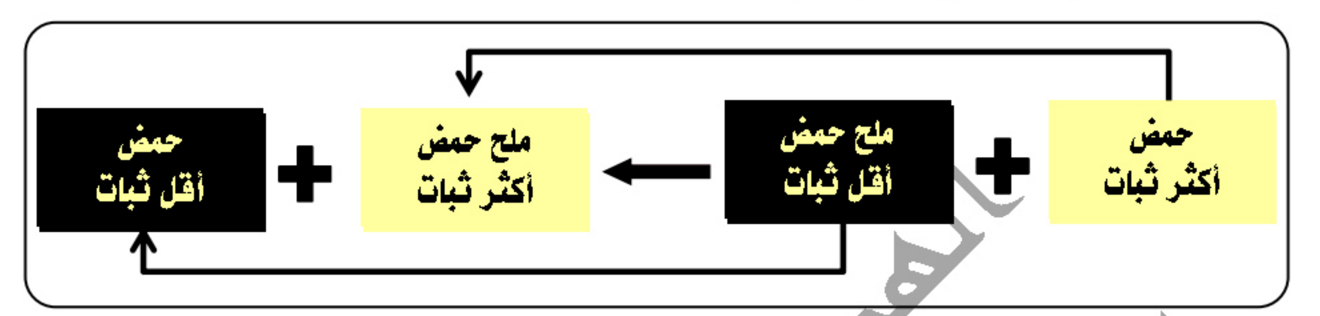
(١) مجموعة أنيونات حمض الهيدروكلوريك المخفف HCl (dil)
(٢) مجموعة أنيونات حمض الكبريتيك المركز H_2SO_4 (conc)
(٣) مجموعة أنيونات محلول كلوريد الباريوم $BaCl_{2(aq)}$

[١] مجموعة أنيونات حمض الهيدروكلوريك المخفف

الكربونات	البيكربونات	الكبريتيت	الكبريتيد	الثيوكبريتات	النيتريت
$(CO_3)^{2-}$	$(HCO_3)^{-}$	$(SO_3)^{2-}$	S^{2-}	$(S_2O_3)^{2-}$	$(NO_2)^{-}$

✪ أساس التجربة

الحمض الأكثر ثباتاً يطرد الحمض الأقل ثباتاً من أملاحه



✪ الأساس العلمي لهذا الكشف :

1. حمض الهيدروكلوريك أكثر ثباتاً من الأحماض التي أشتقت منها هذه الأنيونات.
2. عند تفاعل حمض الهيدروكلوريك مع أملاح هذه الأنيونات يطرد هذه الأحماض الأقل ثباتاً – سهلة التطاير أو الانحلال – يمكن التعرف عليها بالكاشف المناسب ويفضل التسخين الهين ... علل ؟ لأنه يساعد على طرد الغازات.



أنيون الكربونات $(CO_3)^{2-}$

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الهيدروكلوريك

✪ يحدث فوران ويتصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون الذي يعكر ماء الجير الرائق.

$$Na_2CO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

✪ يمرر الغاز لفترة قصيرة(Short Time)وذلك حتى لا تتحول كربونات الكالسيوم إلى بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان فيختفى الراسب.

$$CO_{2(g)} + Ca(OH)_{2(aq)} \xrightarrow{S.T} CaCO_{3(s)} + H_2O_{(l)}$$

التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول كبريتات الماغنسيوم

✪ يتكون راسب أبيض على البارد يذوب فى حمض الهيدروكلوريك

$$Na_2CO_{3(aq)} + MgSO_{4(aq)} \longrightarrow Na_2SO_{4(aq)} + MgCO_{3(s)}$$

$$MgCO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow MgCl_{2(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

ملحوظة:

- جميع كربونات الفلزات لا تذوب فى الماء، عدا كربونات الصوديوم والبوتاسيوم والأمونيوم.
- جميع كربونات الفلزات تذوب فى الأحماض.



أنيون البيكربونات $(HCO_3)^-$

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الهيدروكلوريك

✪ يحدث فوران ويتصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يعكر ماء الجير الرائق.

$$NaHCO_{3(s)} + HCl_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

ملحوظة: جميع البيكربونات قابلة للذوبان فى الماء.

التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول كبريتات الماغنسيوم

✪ يتكون راسب أبيض بعد التسخين

$$2NaHCO_{3(aq)} + MgSO_{4(aq)} \longrightarrow Na_2SO_{4(aq)} + Mg(HCO_3)_{2(aq)}$$

$$Mg(HCO_3)_{2(aq)} \xrightarrow{\Delta} MgCO_{3(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

التمييز بين الكربونات والبيكربونات

✪ بإضافة محلول كبريتات الماغنسيوم إلى محلول الملحين كل على حده فى أنبوبة.

فإذا تكون راسب أبيض

بعد التسخين	على البارد
يكون ملح بيكربونات	يكون ملح كربونات

✪ تكتب المعادلات كما سبق

أنيون الكبريتيت $(SO_3)^{2-}$

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الهيدروكلوريك

✪ يتصاعد غاز ثانى أكسيد الكبريت له رائحة نفاذة ويخضر ورقة مبللة بمحلول ثانى كرومات البوتاسيوم المحمضة بحمض الكبريتيك المركز.

$$Na_2SO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} + SO_{2(g)}$$

$$K_2Cr_2O_{7(aq)} + 3SO_{2(g)} + H_2SO_{4(aq)} \longrightarrow K_2SO_{4(aq)} + Cr_2(SO_4)_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$$

التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول نيترات الفضة

✪ يتكون راسب أبيض من كبريتيت الفضة يسوّد بالتسخين

$$Na_2SO_{3(aq)} + 2AgNO_{3(aq)} \longrightarrow Ag_2SO_{3(s)} + 2NaNO_{3(aq)}$$

أنيون الكبريتيد S^{2-}

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الهيدروكلوريك

✪ يتصاعد غاز كبريتيد الهيدروجين له رائحة كريهة والذى يسوّد ورقة مبللة بمحلول أسيتات الرصاص (II).

$$Na_2S_{(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + H_2S_{(g)}$$

$$(CH_3COO)_2Pb_{(aq)} + H_2S_{(g)} \longrightarrow 2CH_3COOH_{(aq)} + PbS_{(s)}$$



التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول نيترات الفضة

✪ يتكون راسب أسود من كبريتيد الفضة

$$Na_2S_{(aq)} + 2AgNO_{3(aq)} \longrightarrow Ag_2S_{(s)} + 2NaNO_{3(aq)}$$



أنيون الثيوكبريتات $(S_2O_3)^{2-}$

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الهيدروكلوريك

✪ يتصاعد غاز ثانى أكسيد الكبريت ويظهر راسب أصفر نتيجة لتعلق الكبريت فى المحلول.

$$Na_2S_2O_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + H_2O_{(l)} + SO_{2(g)} + S_{(s)}$$

التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول اليود

✪ عند تفاعله مع اليود يختفى لون اليود البنى

$$2Na_2S_2O_{3(aq)} + I_{2(aq)} \longrightarrow Na_2S_4O_{6(s)} + 2NaI_{(aq)}$$

(رباعى ثيونات الصوديوم)



أنيون النيتريت $(NO_2)^-$

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الهيدروكلوريك

✪ يتصاعد غاز أكسيد النيتريك عديم اللون الذى يتحول عند فوهة الأنبوبة إلى اللون البنى المحمر.

$$NaNO_{2(s)} + HCl_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + HNO_{2(aq)}$$

$$3HNO_{2(aq)} \longrightarrow HNO_{3(aq)} + H_2O_{(l)} + 2NO_{(g)}$$

$$2NO_{(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2NO_{2(g)}$$

التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول برمنجنات البوتاسيوم المحمضة بحمض الكبريتيك المركز

✪ يزول اللون البنفسجي للبرمنجنات

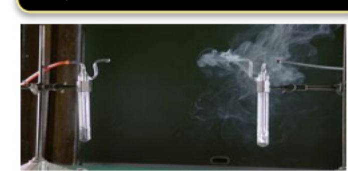
$$5NaNO_{2(aq)} + 2KMnO_{4(aq)} + 3H_2SO_{4(aq)} \longrightarrow 5NaNO_{3(aq)} + K_2SO_{4(aq)} + 2MnSO_{4(aq)} + 3H_2O_{(l)}$$

[٢] مجموعة أنيونات حمض الكبريتيك المركز

الكلوريد	البروميد	اليوديد	النيترات
Cl^-	Br^-	I^-	$(NO_3)^-$

الأساس العلمي لهذا الكشف :

1. حمض الكبريتيك المركز أكثر ثباتاً من الأحماض التي أشتقت منها هذه الأنيونات.
2. عند تفاعل حمض الكبريتيك المركز مع أملاح هذه الأنيونات ثم التسخين نشاهد انفصال هذه الأحماض الأقلّ ثباتا – سهلة التطاير أو الانحلال – في صورة غازية يمكن الكشف عنها بالكواشف المناسبة.



أنيون الكلوريد Cl^-

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الكبريتيك المركز ثم التسخين إذا لزم الأمر

✪ يتصاعد غاز كلوريد الهيدروجين عديم اللون والذى يكون سحباً بيضاء مع ساق زجاجية مبللة بمحلول النشادر.

$$2NaCl_{(s)} + H_2SO_{4(aq)} \xrightarrow[\Delta]{conc.} Na_2SO_{4(aq)} + 2HCl_{(g)}$$

$$HCl_{(g)} + NH_{3(g)} \longrightarrow NH_4Cl_{(s)}$$

التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول نيترات الفضة

✪ يتكون راسب أبيض من كلوريد الفضة يصير بنفسجياً عند تعرضه للضوء – يذوب فى محلول النشادر

$$NaCl_{(aq)} + AgNO_{3(aq)} \longrightarrow NaNO_{3(aq)} + AgCl_{(s)}$$



أنيون البروميد Br^-

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الكبريتيك المركز ثم التسخين إذا لزم الأمر

✪ يتصاعد غاز بروميد الهيدروجين عديم اللون والذى يتأكسد جزئيا بفعل حمض الكبريتيك وتنفصل أبخرة برتقالية حمراء من البروم تسبب إصفرار ورقة مبللة بمحلول النشا.

$$2NaBr_{(s)} + H_2SO_{4(l)} \xrightarrow[\Delta]{conc.} Na_2SO_{4(aq)} + 2HBr_{(g)}$$

$$2HBr_{(g)} + H_2SO_{4(l)} \xrightarrow{conc.} 2H_2O\ (l) + SO_{2(g)} + Br_{2(v)}$$

التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول نيترات الفضة

✪ يتكون راسب أبيض مصفر من بروميد الفضة يصير داكناً عند تعرضه للضوء – يذوب ببطء فى محلول النشادر

$$NaBr_{(aq)} + AgNO_{3(aq)} \longrightarrow NaNO_{3(aq)} + AgBr_{(s)}$$



أنيون اليوديد I^-

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الكبريتيك المركز ثم التسخين إذا لزم الأمر

✪ يتصاعد غاز يوديد الهيدروجين عديم اللون والذى يتأكسد جزئيا بفعل حمض الكبريتيك وتنفصل منه أبخرة اليود والتى تظهر بلونها البنفسجى عند التسخين وتزُرق ورقة مبللة بمحلول النشا.

$$2KI_{(s)} + H_2SO_{4(aq)} \xrightarrow[\Delta]{conc.} K_2SO_{4(aq)} + 2HI_{(g)}$$

$$2HI_{(g)} + H_2SO_{4(aq)} \xrightarrow{conc.} 2H_2O\ (l) + SO_{2(g)} + I_{2(v)}$$

التجربة التأكيدية محلول الملح + محلول نيترات الفضة

✪ يتكون راسب أصفر من يوديد الفضة لا يذوب فى محلول النشادر

$$NaI_{(aq)} + AgNO_{3(aq)} \longrightarrow NaNO_{3(aq)} + AgI_{(s)}$$



أنيون النيترات $(NO_3)^-$

التجربة الأساسية الملح الصلب + حمض الكبريتيك المركز ثم التسخين إذا لزم الأمر

✪ تتصاعد أبخرة بنية محمرة من ثانى أكسيد النيتروجين نتيجة لتحلل حمض النيتريك المنفصل وتزدادكثافة الأبخرة عند إضافة قليل من خراطة النحاس.

$$2NaNO_{3(s)} + H_2SO_{4(l)} \xrightarrow[\Delta]{conc.} Na_2SO_{4(aq)} + 2HNO_{3(aq)}$$

$$4HNO_{3(aq)} \longrightarrow 2H_2O_{(l)} + 4NO_{2(g)} + O_{2(g)}$$

$$4HNO_{3(aq)} + Cu_{(s)} \xrightarrow{conc.} Cu(NO_3)_{2(aq)} + 2H_2O_{(l)} + 2NO_{2(g)}$$

التجربة التأكيدية إختبار الحلقة البنية (السمراء)

✪ محلول ملح النيترات + محلول حديث التحضير من كبريتات الحديد II + قطرات من حمض الكبريتيك المركز تضاف بحرص على السطح الداخلى لأنبوبة الإختبار، فتتكون حلقة بنية عند السطح الفاصل بين الحمض ومحاليل التفاعل تزول بالرج أو التسخين.

$$2NaNO_{3(aq)} + 6FeSO_{4(aq)} + 4H_2SO_{4(aq)} \xrightarrow{conc.} 3Fe_2(SO_4)_{3(aq)} + Na_2SO_{4(aq)} + 4H_2O_{(l)} + 2NO_{(g)}$$

$$FeSO_{4(aq)} + NO_{(g)} \longrightarrow FeSO_4.NO_{(s)}$$

مركب الحلقة البنية (نيتروزيل كبريتات حديد (II))

[٣] مجموعة أنيونات محلول كلوريد الباريوم

الفوسفات	الكبريتات
$(PO_4)^{3-}$	$(SO_4)^{2-}$

الأساس العلمي لهذا الكشف :

أنيونات هذه المجموعة لا تتفاعل مع أياً من حمض HCl المخفف أو حمض H_2SO_4 المركز ولكن هذه الأنيونات تُعطي محاليل أملاحها راسب مع محلول كلوريد الباريوم $BaCl_2$

الأنيون ورمزه	التجربة الأساسية	تجارب تأكيدية للأنيون
الفوسفات PO_4^{3-}	يتكون راسب **أبيض** ... **علل ؟** لتكون فوسفات الباريوم الذي يذوب في حمض الهيدروكلوريك المخفف. $2Na_3PO_{4(aq)} + 3BaCl_{2(aq)} \longrightarrow 6NaCl_{(aq)} + Ba_3(PO_4)_{2(s)}$	محلول الملح + محلول نيترات الفضة ← يتكون راسب **أصفر** ... **علل ؟** لتكون فوسفات الفضة الذي يذوب في كل من محلول النشادر وحمض النيتريك. $Na_3PO_{4(aq)} + 3AgNO_{3(aq)} \longrightarrow 3NaNO_{3(aq)} + Ag_3PO_{4(s)}$
الكبريتات SO_4^{2-}	يتكون راسب **أبيض** ... **علل ؟** لتكون كبريتات الباريوم لا يذوب في حمض الهيدروكلوريك المخفف. $Na_2SO_{4(aq)} + BaCl_{2(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + BaSO_{4(s)}$	محلول الملح + محلول أسيتات الرصاص II يتكون راسب **أبيض** ... **علل ؟** لتكون كبريتات الرصاص II $Na_2SO_{4(aq)} + (CH_3COO)_2Pb_{(aq)} \longrightarrow 2CH_3COONa_{(aq)} + PbSO_{4(s)}$

الكشف عن الكاتيونات (الشق القاعدى)

يعتبر الكشف عن الشق القاعدي أكثر تعقيداً من الكشف عن الشق الحامضي ... علل ؟
وذلك لكثرة عدد الشقوق القاعدية وللتداخل فيما بينها، علاوة على إمكانية وجود الشق الواحد في أكثر من حالة تأكسد مثل كاتيونات الحديد II (Fe^{2+}) ، وكاتيونات الحديد III (Fe^{3+})

الأساس العلمي للكشف عن الشق القاعدي ملح :

1. تقسم الشقوق القاعدية إلى ست مجموعات تسمى المجموعات التحليلية.
2. لكل مجموعة من الشقوق القاعدية كاشف معين يسمى بكاشف المجموعة.
3. يعتمد هذا التقسيم على اختلاف ذوبان أملاح هذه الكاتيونات (الفلزات) في الماء.

✪ **تقسم الشقوق القاعدية إلى ست مجموعات تسمى المجموعات التحليلية، لكل مجموعة كاشف معين يسمى بكاشف المجموعة.**

أساس تقسيم المجموعات التحليلية

✪ **هو اختلاف ذوبان أملاح هذه الفلزات فى الماء**

المجموعة التحليلية الأولى

كاتيون الفضة (I)	كاتيون الزئبق (I)	كاتيون الرصاص (II)
$(Ag)^{+}$	$(Hg)^{+}$	$(Pb)^{2+}$

الأساس العلمي للكشف عن المجموعة التحليلية الأولى :

ترسب فلزات المجموعة التحليلية الأولى على هيئة كلوريدات ... علل ؟
لأنه بإضافة كاشف المجموعة (حمض الهيدركلوريك المخفف) يتكون كلوريدات فلزات المجموعة التحليلية الأولى وهي شحيحة الذوبان في الماء مثل كلوريدات الفضة (I) والزئبق (I) والرصاص (II)

المجموعة التحليلية الثانية

كاتيون النحاس (II)
$(Cu)^{2+}$

الأساس العلمي لهذا الكشف :

ترسب كاتيونات المجموعة التحليلية الثانية على هيئة كبريتيدات في الوسط الحامضي ويتم ذلك بإذابة الملح في الماء وإضافة حمض هيدروكلوريك مخفف ثم يمرر فيه غاز كبريتيد الهيدروجين... **علل ؟**
ليصير المحلول حامضياً وبالتالي يمكنها ترسيب كاتيونات المجموعة التحليلية الثانية على هيئة كبريتيدات.

الكشف عن أيون النحاس (II) :

✪ محلول ملح النحاس (II) + كاشف المجموعة ($HCl + H_2S$) يتكون راسب أسود من كبريتيد النحاس (II) يذوب في حمض النيتريك الساخن.

$$CuSO_{4(aq)} + H_2S_{(g)} \longrightarrow H_2SO_{4(aq)} + CuS_{(s)}$$

المجموعة التحليلية الثالثة

كاتيون الألومنيوم (III)	كاتيون الحديد (II)	كاتيون الحديد (III)
$(Al)^{3+}$	$(Fe)^{2+}$	$(Fe)^{3+}$

التجربة الأساسية : محلول الملح + كاشف المجموعة (هيدروكسيد الأمونيوم NH_4OH)

الكاتيون	تفاعله مع كاشف المجموعة	تجارب تأكيدية
الألومنيوم Al^3	يتكون راسب أبيض جيلاتيني ... **علل ؟** لتكون هيدروكسيد الألومنيوم **يذوب** في الأحماض المخففة وفي محلول الصودا الكاوية. $Al_2(SO_4)_{3(aq)} + 6NH_4OH_{(aq)} \longrightarrow 3(NH_4)_2SO_{4(aq)} + 2Al(OH)_{3(s)}$	محلول الملح + محلول هيدروكسيد الصوديوم ← يتكون راسب **أبيض جيلاتيني** من هيدروكسيد الألومنيوم **يذوب** في وفرة من هيدروكسيد الصوديوم ... **علل ؟** لتكون ميتا ألومينات الصوديوم الذائبة في الماء. $Al_2(SO_4)_{3(aq)} + 6NaOH_{(aq)} \longrightarrow 3Na_2SO_{4(aq)} + 2Al(OH)_{3(s)}$ $Al(OH)_{3(s)} + NaOH_{(aq)} \longrightarrow NaAlO_{2(aq)} + 2H_2O_{(\ell)}$
الحديد (II) Fe^2	يتكون راسب **أبيض** يتحول إلى **أبيض مخضر** بالتعرض للهواء ويذوب في الأحماض. $FeSO_{4(aq)} + 2NH_4OH_{(aq)} \longrightarrow (NH_4)_2SO_{4(aq)} + Fe(OH)_{2(s)}$	محلول الملح + محلول هيدروكسيد الصوديوم ← يتكون راسب **أبيض مخضر** ... **علل ؟** لتكون هيدروكسيد الحديد (II) $FeSO_{4(aq)} + 2NaOH_{(aq)} \longrightarrow Na_2SO_{4(aq)} + Fe(OH)_{2(s)}$
الحديد (III) Fe^3	يتكون **راسب جيلاتيني** لونه **بني محمر** يذوب في الأحماض. $FeCl_{3(aq)} + 3NH_4OH_{(aq)} \longrightarrow 3NH_4Cl_{(aq)} + Fe(OH)_{3(s)}$	محلول الملح + محلول هيدروكسيد الصوديوم ← يتكون **راسب بني محمر** ... **علل ؟** لتكون هيدروكسيد الحديد (III) $FeCl_{3(aq)} + 3NaOH_{(aq)} \longrightarrow 3NaCl_{(aq)} + Fe(OH)_{3(s)}$

المجموعة التحليلية الخامسة

كاتيون الكالسيوم (II)
$(Ca)^{2+}$

الأساس العلمي في الكشف :

ترسب كاتيونات هذه المجموعة على هيئة كربونات بإضافة محلول كربونات الأمونيوم.

التجربة الأساسية : محلول الملح + كاشف المجموعة (محلول كربونات الأمونيوم)

الكاتيون	تفاعله مع كاشف المجموعة	تجارب تأكيدية
الكالسيوم Ca^2	يتكون راسب أبيض ... **علل ؟** لتكون كربونات الكالسيوم يذوب في حمض HCl المخفف ويذوب أيضاً في الماء المحتوي على CO_2 ... **علل ؟** $CaCl_{2(aq)} + (NH_4)_2CO_{3(aq)} \longrightarrow 2NH_4Cl_{(aq)} + CaCO_{3(s)}$ $CaCO_{3(s)} + H_2O_{(\ell)} + CO_{2(g)} \longrightarrow Ca(HCO_3)_{2(aq)}$	① محلول الملح + حمض كبريتيك مخفف يتكون **راسب أبيض** ... **علل ؟** لتكون كبريتات الكالسيوم. $CaCl_{2(aq)} + H_2SO_{4(aq)} \longrightarrow 2HCl_{(aq)} + CaSO_{4(s)}$ ② **الكشف الجاف :** كاتيونات الكالسيوم المتطايرة تُكسب لهب بنزن لون أحمر طوبي.

تراكم معرفي في التحليل الكمي

المــول :

✪ هـو كميـة المـادة التـي تحتـوي علـى عـدد أفوجـادرو مـن الجسـيمات (جزيئـات أو ذرات أو أيونـات أو وحدات الصيغة أو إلكترونات)

✪ **مثــال** : في التفاعل التالي : $Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$

يلزم 3 مول من الإلكترونات لإختزال 1 مول من أيونات Al^3 لتكوين 1 مول من ذرات Al

الكتلة المولية (g): مجموع الكتل الذرية للعناصر الداخلة في تركيب الجزيء أو وحدة الصيغة مقدرة بوحدة الجرام.

1) عدد المولات (mol) = كتلة المادة (g) / كتلة المول (g/mol)

2) عدد المولات (mol) = عدد الذرات أو الجزيئات أو الأيونات أو وحدة الصيغة / 6.02×10^{23}

3) عدد المولات (mol) = حجم الغاز (L) / حجم المول الواحد 22.4 (L/mol) (at STP)

1 مول من أي غاز (at STP) يشغل **22.4 لتر** ويحتوي على 6.02×10^{23} **جزيء**

مثال احسب عدد جزيئات **6.4 جرام** من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) [S=32 , O=16]

الحل

$1 \text{ mol } (SO_2) = 32+(2\times16) = 64 \text{ g} \longrightarrow 6.02\times10^{23}$ جزيء

$6.4 \text{ g} \longrightarrow \chi$ جزيء

$\therefore \chi = \dfrac{6.4\times6.02\times10^{23}}{64} = 6.02\times10^{22}$ جزيء

مثال احسب كتلة النيتروجين الناتجة من أكسدة **20 g** من الهيدرازين من خلال التفاعل التالي :

$N_2H_{4(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow N_{2(g)} + 2H_2O_{(g)}$ [H=1 , O=16 , N=14]

الحل

$1 \text{ mol } (N_2H_4) \longrightarrow 1 \text{ mol } (N_2)$

$32 \text{ g} \longrightarrow 28 \text{ g}$

$20 \text{ g} \longrightarrow \chi \text{ g}$

$\therefore \chi = \dfrac{20\times28}{32} = 17.5 \text{ g}$

مثال احسب حجم **11 g** من غاز **(CO_2)** في (STP)   **[C=12 , O=16]**

الحل

$$1\ mol\ (CO_2) = 12+(2\times16) = 44\ g \longrightarrow 22.4\ L$$

$$11\ g \longrightarrow \chi\ \ L$$

$$\therefore \chi = \frac{11\times22.4}{44} = 5.6\ L$$

مثال احسب حجم الأكسجين اللازم لإنتاج **90 g** من الماء عند تفاعله مع وفرة من الهيدروجين في **(STP)**
[H=1 , O=16]

الحل

$$2H_{2(g)} + O_{2(g)} \longrightarrow 2H_2O_{(g)}$$

$$1\ mol\ (O_2) \longrightarrow 2\ mol\ (H_2O)$$

$$22.4\ L \longrightarrow 2\times(2+16) = 36\ g$$

$$\chi\ \ L \longrightarrow 90\ g$$

$$\therefore \chi = \frac{90\times22.4}{36} = 56\ L$$

مثال احسب عدد أيونات الصوديوم الناتجة من تأين **10.6 g** كربونات الصوديوم تماماً طبقاً للمعادلة التالية:
[H=1 , O=16]

$$Na_2CO_{3(s)} + H_2O_{(\ell)} \longrightarrow 2Na^+_{(aq)} + CO^{2-}_{3(aq)}$$

الحل

$$1\ mol\ (Na_2CO_3) \longrightarrow 2\ mol\ (Na^+)$$

$$106\ g \longrightarrow 2\times6.02\times10^{23}\ ion$$

$$10.6\ g \longrightarrow \chi\ \ ion$$

$$\therefore \chi = \frac{10.6\times2\times6.02\times10^{23}}{106} = 1.204\times10^{23}\ ion$$

---

4 **كثافة الغاز (g/L) = $\frac{\text{الكتلة المولية (g/mol)}}{\text{حجم المول الواحد (22.4 L/mol)}}$ (at STP)**

مثال احسب الكتلة الجزيئية لغاز كثافته **1.5 g/L** (at STP)

الحل الكتلة الجزيئية = كثافة الغاز × 22.4 = 1.5 × 22.4 = **33.6 g/mol**

مثال احسب كثافة غاز الأكسجين **(O_2)** وكثافة غاز ثاني أكسيد الكربون **(CO_2)** تحت الظروف القياسية **(at STP)**   **[C=12 , O=16]**

الحل ∵ الكتلة الجزيئية لغاز الأكسجين (O_2) = 2×16 = 32 g

∴ كثافة غاز الأكسجين (O_2) = $\frac{32}{22.4}$ = **1.43 g/L**

∵ الكتلة الجزيئية لغاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) = 12 + (2×16) = 44 g

∴ كثافة غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) = $\frac{44}{22.4}$ = **1.96 g/L**

5 التركيز المولاري (M) = $\frac{\text{عدد المولات (mol)}}{\text{حجم المحلول (L)}}$

مثال

احسب التركيز المولاري لمحلول سكر القصب $C_{12}H_{22}O_{11}$ في الماء إذا علمت أن كتلة السكر المذابة 85.5 g في محلول حجمه 0.5 L
[C=12 , H=1 , O=16]

الحل

الكتلة المولية لسكر القصب $C_{12}H_{22}O_{11}$ = (12 × 12) + (22 × 1) + (16×11) = 342 g

عدد مولات السكر = $\frac{\text{كتلة المادة بالجرام}}{\text{الكتلة المولية}}$ = $\frac{85.5}{342}$ = 0.25 mol

المولارية (M) = $\frac{0.25\ mol}{0.5\ L}$ = 0.5 mol / L

6 النسبة المئوية الكتلية لعنصر في مركب (g/g%) = $\frac{\text{كتلة العنصر في مول من المركب}}{\text{الكتلة المولية للمركب}}$ × 100

مثال

احسب النسبة المئوية لكل عنصر في مركب نترات الأمونيوم (NH_4NO_3)
[H=1 , O=16 , N=14]

الحل

الكتلة المولية (الجزيئية) لـ NH_4NO_3 = (3 × O) + (2 × N) + (4 × H)
= (3 × 16) + (2 × 14) + (4 × 1) = 80 g

النسبة المئوية للنيتروجين = $\frac{\text{الكتلة المولية للنيتروجين (28)}}{\text{الكتلة المولية لنترات الأمونيوم (80)}}$ × 100 = 35 %

النسبة المئوية للأكسجين = $\frac{\text{الكتلة المولية للأكسجين (48)}}{\text{الكتلة المولية لنترات الأمونيوم (80)}}$ × 100 = 60 %

النسبة المئوية للهيدروجين = $\frac{\text{الكتلة المولية للهيدروجين (4)}}{\text{الكتلة المولية لنترات الأمونيوم (80)}}$ × 100 = 5 %

7 النسبة المئوية الكتلية لمركب في عينة غير نقية = $\frac{\text{كتلة المركب في العينة}}{\text{كتلة العينة غير النقية}}$ × 100

مثال

إذا كانت كتلة عينة من كلوريد الكالسيوم المتهدرت $CaCl_2.XH_2O$ هي 1.47 g وسخنت تسخيناً شديداً إلى أن ثبتت كتلتها فوجدت 1.11 g ، احسب النسبة المئوية لماء التبلر من الكلوريد المتهدرت.

الحل

∵ كتلة ماء التبلر = 1.47 – 1.11 = 0.36 g

∴ النسبة المئوية لماء التبلر = $\frac{0.36}{1.47}$ × 100 = 24.49%

8 النسبة المئوية للناتج الفعلي بالنسبة للناتج النظري = $\frac{\text{كتلة المركب الفعلي}}{\text{كتلة المركب النظري}}$ × 100

ثانياً : التحليل الكمي (Quantitative analysis)

(1) التحليل الكمي الحجمي

الأساس العلمي :

✪ تعتمد على قياس حجوم المواد المراد تقديرها وذلك بإضافة حجما معلوما من المادة المراد تحديد تركيزها إلى محلول من مادة معلومة الحجم والتركيز (المحلول القياسي) حتى يتم التفاعل الكامل بين المادتين.

المحلول القياسي

✪ **محلول معلوم الحجم والتركيز يستخدم لتعيين تركيز محلول آخر مجهول التركيز**

المعايرة

✪ **عملية تعيين تركيز حمض أو (قاعدة) بمعلومية الحجم اللازم منه للتعادل مع قاعدة أو (حمض) معلوم الحجم والتركيز**

✪ **أو : إضافة حجوم معلومة من مادة معلومة التركيز إلى محلول مادة أخرى معلومة الحجم ومجهولة التركيز**

✪ لاختيار المحلول القياسي يجب معرفة التفاعل المناسب بين محلولي المادتين وهذه التفاعلات قد تكون :

1. **تفاعلات التعادل :** تستخدم في تقدير الأحماض والقلويات (القواعد).
2. **تفاعلات الأكسدة والاختزال :** تستخدم في تقدير المواد المؤكسدة والمختزلة.
3. **تفاعلات الترسيب :** تستخدم في تقدير المواد التي يمكن أن تعطي نواتج شحيحة الذوبان في الماء.

مثال

✪ إذا كانت المادة المراد تقديرها حامضاً يستخدم في المعايرة محلول قياسي من قلوي أو قاعدة (هيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم)

✪ وإذا كانت المادة المراد تقديرها ذات خصائص قاعدية يستخدم محلول قياسي معلوم التركيز من الحمض لمعايرتها ... وهكذا.

✪ وللتعرف على نقطة نهاية التفاعل (End Point) تستخدم أدلة (Indicators) لتحديد نهاية التفاعل حيث يتغير لونها بتغيير وسط التفاعل.

نقطة التعادل

✪ **النقطة التي يتم عندها تمام تفاعل التعادل بين الحمض والقاعدة**

الأدلة

✪ **مواد تستخدم للتعرف على نقطة نهاية التفاعل بتتغير لونها بتغيير وسط التفاعل**

الأدلة المستخدمة في تفاعلات التعادل :

الدليل	اللون في الوسط الحامضي	اللون في الوسط المتعادل	اللون في الوسط القاعدي	الوسط المستخدم في قياسه
الميثيل البرتقالي	أحمر	برتقالي	أصفر	قاعدة ضعيفة – حمض قوي
الفينولفيثالين	عديم اللون	عديم اللون	أحمر	قاعدة قوية – حمض ضعيف
عباد الشمس	أحمر	أرجواني	أزرق	قاعدة قوية – حمض قوي
أزرق بروموثيمول	أصفر	أخضر فاتح	أزرق	قاعدة قوية – حمض قوي

تدريب عملي : تقدير محلول من هيدروكسيد الصوديوم مجهول التركيز مع محلول قياسي معلوم التركيز من حمض الهيدروكلوريك

① ينقل حجم معلوم **(25 mL)** من هيدروكسيد الصوديوم إلى دورق مخروطي باستخدام ماصة.
② يضاف إليه قطرتين من محلول دليل مناسب مثل (محلول عباد الشمس أو أزرق بروموثيمول)
③ تُملئ السحاحة بالمحلول القياسي من حمض الهيدروكلوريك تركيز **(0.1 mol/L)**
④ يُضاف محلول الحمض بالتدريج إلى محلول القلوى حتى يتغير لون الدليل مشيراً الى نهاية التفاعل(**نقطة التعادل**) الذي يمكن تمثيله على النحو التالي :

$$NaOH_{(aq)} + HCl_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(\ell)}$$

⑤ إذا افترضنا أن حجم الحمض المضاف من السحاحة (21 mL)
فإن عدد المولات من الحمض المضاف $= \frac{M \times V}{1000} = \frac{21 \times 0.1}{1000} = 2.1 \times 10^{-3}$ mol
و هذا يعني أن عدد المولات من هيروكسيد الصوديوم الموجودة في 25 mL من المحلول $= 2.1 \times 10^{-3}$ mol
وعدد المولات الموجودة في اللتر $= \frac{2.1 \times 10^{-3} \times 1000}{25} = 0.084$ mol/L
وبالتالي فإن تركيز محلول هيروكسيد الصوديو $= 0.084$ mol/L

أو

⑤ ولتبسيط طريقة الحساب تستخدم العلاقة : $\frac{M_b V_b}{n_b} = \frac{M_a V_a}{n_a}$

حيث أن :

M_a	تركيز الحمض المستخدم (mol/L)	M_b	تركيز القلوي المستخدم (mol/L)
V_a	حجم الحمض المستخدم في المعايرة (mL)	V_b	حجم القلوي المستخدم في المعايرة (mL)
n_a	عدد مولات الحمض في معادلة التفاعل المتزنة	n_b	عدد مولات القلوي في معادلة التفاعل المتزنة

وفي التفاعل السابق فإن :

هيدروكسيد الصوديوم — حمض الهيدروكلوريك

$$\frac{M_a V_a}{n_a} = \frac{M_b V_b}{n_b}$$

$$\frac{0.1 \times 21}{1} = \frac{M_b \times 25}{1} \Rightarrow \therefore M_b = \frac{21 \times 0.1}{25} = 0.084 \text{ mol/L}$$

مثال

أجريت معايرة **(20 mL)** من محلول هيدروكسيد الكالسيوم **$Ca(OH)_2$** باستخدام حمض الهيدروكلوريك **(0.5 mol/L)** وعند تمام التفاعل استهلك **(25 mL)** من الحمض ، احسب التركيز المولاري لهيدروكسيد الكالسيوم **(mol/L)**

الحل

المعادلة الموزونة للتفاعل هي :
$$2HCl + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCl_2 + 2H_2O$$

$$\because \frac{M_a V_a}{n_a} = \frac{M_b V_b}{n_b} \Rightarrow \frac{0.5 \times 25}{2} = \frac{M_b \times 20}{1}$$

$$\therefore M_b = \frac{25 \times 0.5}{2 \times 20} = 0.3125 \text{ mol/L}$$ تركيز هيروكسيد الكالسيوم

مثال

احسب كتلة هيدروكسيد الصوديوم المذابة في 10 mL ، تعادلت مع 20 mL من حمض الكبريتيك 0.22 mol/L [Na=23 , O=16 , H=1]

(0.352 g)

مثال

مخلوط من مادة صلبة يحتوي على هيدروكسيد الصوديوم وكلوريد الصوديوم ، لزم لمعايرة (0.1 g) منه حتى تمام التفاعل (10 mL) من حمض الهيدروكلوريك (0.1 mol/L) ، احسب النسبة المئوية لهيدروكسيد الصوديوم في المخلوط [Na=23 , O=16 , H=1]

الحل

∵ عدد المولات = التركيز (mol/L) × الحجم (L)

∴ عدد مولات حمض الهيدروكلوريك المتفاعلة = $\frac{0.1 \times 10}{1000} = 0.001$ mol

تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع حمض الهيدروكلوريك وفقاً للتفاعل الآتي :

$$NaOH_{(aq)} + HCl_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O_{(\ell)}$$

ومن التفاعل السابق نجد أن عدد مولات هيدروكسيد الصوديوم تساوي عدد مولات حمض الهيدروكلوريك

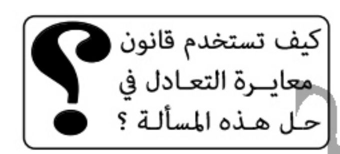
وبذلك فإن عدد مولات هيدروكسيد الصوديوم المتفاعلة = 0.001 mol

$$1 \quad mol\ (NaOH) \longrightarrow 40\ g$$

$$0.001\ mol\ (NaOH) \longrightarrow \chi\ \ g$$

كتلة هيدروكسيد الصوديوم في المخلوط $(\chi) = 0.001 \times 40 = 0.04$ g

نسبة هيدروكسيد الصوديوم في المخلوط = $\frac{0.04}{0.1} \times 100 = 40\%$



مثال

عينة من مادة صلبة تحتوي خليط من هيدروكسيد الصوديوم وكبريتات الصوديوم ، عوير محلول منه يحتوي على (0.2 g) حتى تمام التفاعل فلزم (12 mL) من حمض الكبريتيك (0.1 mol/L)، احسب نسبة هيدروكسيد الصوديوم في العينة [Na=23 , O=16 , H=1] (أزهر ثان ١٠)

(48%)

---

(2) التحليل الكمي الكتلي

الأساس العلمي :

✪ يعتمد التحليل الكتلي على فصل المكون المراد تقديره، ثم تعيين كتلته وباستخدام الحساب الكيميائي يمكن حساب كميته ويتم فصل هذا المكون بإحدى طريقتين

(أ) طريقة التطاير

(ب) طريقة الترسيب

(أ) طريقة التطاير

الأساس العلمي :

✪ تبنى فكرتها على تطاير العنصر أو المركب المراد تقديره وتجرى عملية التقدير إما بجمع المادة المتطايرة وتعيين كتلتها أو بتعيين مقدار النقص في كتلة المادة الأصلية.

مثال

إذا كانت كتلة عينة من كلوريد الباريوم المتهدرت $BaCl_2.XH_2O$ هي **2.6903 g** وسخنت تسخيناً شديداً إلى أن ثبتت كتلتها فوجدت **2.2923 g** ، احسب النسبة المئوية لماء التبلر من الكلوريد المتهدرت ، ثم أوجد الصيغة الجزيئية للملح المتهدرت **[O=16 , H=1 , Cl=35.5 , Ba=137]**

الحل

كتلة كلوريد الباريوم المتهدرت $(BaCl_2.XH_2O) = 2.6903\ g$

كتلة كلوريد الباريوم $(BaCl_2) = 2.2923\ g$

كتلة ماء التبلر $= 2.6903 \quad 2.2923 = 0.398\ g$

∴ النسبة المئوية لماء التبلر $= \frac{0.398}{2.6903} \times 100 = 14.79\%$

	H_2O	$BaCl_2$
كتلة المـــــادة	0.398 g	2.2923 g
كتلة المـــــول	$16 + 2 = 18\ g$	$(2\times35.5) + 137 = 208\ g$
عدد المـــــولات	$\frac{0.398}{18} = 0.022\ mol$	$\frac{2.2923}{208} = 0.011\ mol$
نسبة المـــــولات	$\frac{0.022}{0.011} = 2$	$\frac{0.011}{0.011} = 1$
الصيغة الجزيئية	$BaCl_2.2H_2O$	

أو

$$1\ mol\ (BaCl_2) \longrightarrow \chi\ mol\ (H_2O)$$
$$208\ g\ (BaCl_2) \longrightarrow \chi\ g\ (H_2O)$$
$$2.2923\ g\ (BaCl_2) \longrightarrow 0.398\ g\ (H_2O)$$

كتلة ماء التبلر $= \frac{0.398 \times 208}{2.2923} = 36.114\ g$

الكتلة المولية للماء $= (1\times2) + (16\times1) = 18\ g/mol$

∴ عدد مولات جزيئات ماء التبلر $= \frac{36.114}{18} = 2.006\ mol$

∴ **الصيغة الجزيئية لكلوريد الباريوم المتهدرت هي $BaCl_2.2H_2O$**

مثال

إذا كانت كتلة زجاجة فارغة **24.3238 g** وكتلتها وبها عينة من كلوريد الباريوم المتهدرت **27.569 g** وكتلتها بعد التسخين وثبوت الكتلة **27.0902 g** **[O=16,H=1,Cl=35.5, Ba=137]**

احسب ما يلي : (١) نسبة ماء التبلر في كلوريد الباريوم المتهدرت

(٢) عدد جزيئات ماء التبلر في جزيء كلوريد الباريوم المتهدرت

(٣) الصيغة الكيميائية لكلوريد الباريوم المتهدرت

(14.75% - 2 mol - $BaCl_2.2H_2O$)

(ب) طريقة الترسيب

الأساس العلمي :

✪ تعتمد هذه الطريقة على :

① ترسيب العنصر أو المكون المراد تقديره على هيئة مركب نقي غير قابل للذوبان وذو تركيب كيميائي معروف وثابت.

② يفصل هذا المركب عن المحلول بالترشيح على **ورقة ترشيح عديمة الرماد نوع من ورق الترشيح يحترق احتراقاً كاملاً ولا يترك رماد**

③ تنقل ورقة الترشيح و عليها الراسب في بوتقة احتراق وتحرق تماماً حتى تتطاير مكونات ورقة الترشيح ويبقى الراسب

④ من كتلة الراسب يمكن تحديد كتلة العنصر أو المركب

مثال : ترسيب الباريوم على صورة كبريتات الباريوم

مثال

أضيف محلول كبريتات الصوديوم إلى محلول من كلوريد الباريوم حتى تمام ترسيب كبريتات الباريوم وتم فصل الراسب بالترشيح والتجفيف فوجد أن كتلته = **2 g** ، احسب كتلة كلوريد الباريوم في المحلول

[O=16 , S=32 , Cl=35.5 , Ba=137]

الحل

يجب كتابة معادلة التفاعل موزونة ثم تحسب الكتل المولية للمواد المطلوب إيجاد العلاقة بينها وهي هنا كلوريد وكبريتات الباريوم

$$BaCl_{2(aq)} + Na_2SO_{4(aq)} \longrightarrow 2NaCl_{(aq)} + BaSO_{4(s)}$$

$$1\ mol\ (BaCl_2) \longrightarrow 1\ mol\ (BaSO_4)$$

$$208\ g \longrightarrow 233\ g$$

$$\chi\ g \longrightarrow 2\ g$$

(كتلة كلوريد الباريوم) $\chi = \frac{2 \times 208}{233} = 1.785\ g$